

**ANALISIS MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN
MENGUNAKAN ALAT PUNDIT PL-200**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**FATIMAH AZZAHRA FITRI
NIM. 145060101111060**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN MENGUNAKAN ALAT PUNDIT PL-200

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



FATIMAH AZZAHRA FITRI

NIM. 145060101111060

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 08 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT
NIK. 2010027712032001

Roland Martin S, ST., MT., M.Sc
NIP. 19850714 201212 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

**Terimakasih untuk Keluarga
Bapak dan Ibu Dosen
Teman di Kampus
Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Yang Selalu Saya Banggakan**

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Analisis Modulus Elastisitas Beton dengan Menggunakan Alat PUNDIT PL-200

Nama Mahasiswa : Fatimah Azzahra Fitri

NIM : 145060101111060

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT

Dosen Penguji 2 : Roland Martin S, ST., MT., M.Sc

Dosen Penguji 3 : Lilya Susanti, ST., MT

Tanggal Ujian : 03 Januari 2018

SK Penguji : 1764/UN 10.F07/SK/2017

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 08 Januari 2018

Fatimah Azzahra Fitri

NIM. 145060101111060

RIWAYAT HIDUP

Fatimah Azzahra Fitri, lahir di Padang, 20 Februari 1996, anak ketiga dari Bapak Teja Mulkan dan Ibu Zuraifa Amin. Mulai memasuki bangku sekolah di SD IT Khaira Ummah, Padang sejak tahun 2002 dan lulus pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 13 Padang dan lulus pada tahun 2011. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 02 Padang dan lulus pada tahun 2014. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2017 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam kegiatan organisasi kampus. Aktif sebagai Anggota Divisi Pendidikan dan Nalar Departemen Akademis Himpunan Mahasiswa Sipil periode 2015/2016, Anggota Divisi Pendidikan dan Nalar Departemen Amara Himpunan Mahasiswa Sipil periode 2016/2017, serta berbagai kepanitiaan dan lomba yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Januari 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjat kan kehadiran Allah SWT karena hanya berkat rahmat, hidayah dankarunia-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Modulus Elastitas Beton Menggunakan Alat PUNDIT PL-200”**

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Eng. Eva Arifi, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I
2. Bapak R. Martin Simatupang, ST., MT., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II
3. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiharjo, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Bapak Saifoe El Unas, ST., MT selaku Dosen Penasehat Akademik
5. Bapak Teja Mulkan dan Ibu Zuraifa sebagai Orang Tua tersayang
6. Stevani M Putri, Annisa M Febrika, Satria AR, dan M Faadil Mulkan kakak dan adik yang tercinta
7. Om Eviandi dan Tante Salmidar sebagai keluarga di Malang
8. Skripsweet (Geng Penelitian Beton dan Baja) yang terdiri dari Eky, Kamil, Gandi, Wikha, Agus dan Teguh
9. Udiq'Zz Nitty terdiri dari Mutya, Mutiara, Monica, Mia, Putri, Riza dan Wenny sahabat saya dan sekaligus tim *cheerleader* pemberi support
10. Sipil'14 Cantik yang terdiri dari mahasiswi cantik sipil angkatan 2014 yang memberi masukan dan dukungan
11. Nurmadinah dan Akbar sipil 2015 yang membantu saya dalam mengerjakan tugas kuliah pada masa revisian skripsi
12. Yoegi sipil Politeknik Negeri Padang yang mendorong saya untuk mengambil skripsi lebih cepat
13. Pak Sugeng dan Mas Dino yang telah membantu saya selama di Laboratorium Struktur
14. Fatim, Ani, Uyun dan Nisa sebagai Anggota Trip Buk Andi yang menemani perjalanan merantau kuliah di malang
15. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Teknik Sipil UniversitasBrawijaya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan sipil.

Malang, Januari 2018

Fatimah Azzahra Fitri

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN.....	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Peneltitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Material Pembentuk Beton	3
2.1.1 Agregat	3
2.1.2 Semen Portland	3
2.1.3 Air	4
2.2 Perencanaan Campuran Beton	4
2.3 Kuat Tekan Beton	4
2.4 Tegangan dan Regangan Beton	5
2.4.1 Tegangan Beton	5
2.4.2 Regangan Beton	6
2.5 Kurva Tegangan dan Regangan Beton	7
2.6 Modulus Elastisitas Statis	8
2.7 Modulus Elastisitas Dinamis.....	9
2.8 Rasio Poisson	9
2.9 Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)</i>	10
2.10 Jenis-Jenis Gelombang Mekanik	10

2.11 Hubungan Gelombang P (V_p) dan Gelombang S (V_s).....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	13
3.2 Variabel Penelitian.....	13
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	13
3.3.1 Alat Penelitian.....	13
3.3.2 Bahan Penelitian	14
3.4. Analis Bahan.....	14
3.4.1 Agregat.....	14
3.4.2 Semen.....	14
3.4.3 Air	14
3.4.4 Beton	14
3.4.5 Rancangan Uji Tekan.....	15
3.4.6 Rancangan Uji Modulus Elastisitas	15
3.5 Bagan Alir Penelitian dan Pembuatan Benda Uji.....	16
3.6 Prosedur Penelitian	17
3.6.1 Pengujian Agregat Halus.....	17
3.6.2 Pengujian Agregat Kasar	17
3.6.3 Pengujian Campuran Beton	17
3.6.4 Pembuatan Benda Uji	17
3.6.5 Pengujian Nilai Slump	17
3.6.6 Perawatan Benda Uji.....	17
3.6.7 Pengujian Kuat Tekan	18
3.6.8 Pengujian Modulus Elastisitas	18
3.7 Metode Analisa Penelitian	20
3.8 Hipotesis Penelitian	21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Analisa Material.....	23
4.1.1 Semen.....	23
4.1.2 Air	23
4.1.3 Agregat Halus	23
4.1.4 Agregat Kasar	24
4.2 Perencanaan <i>Mix Design</i>	26
4.3 Hasil Pengujian	27

4.3.1 Berat Isi Beton.....	27
4.3.2 Uji <i>Slump</i>	28
4.3.3 Uji Kuat Tekan.....	29
4.3.5 Uji Modulus Elastisitas	31
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	55

Halaman ini sengaja di kosongkan

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Variabel Penelitian	13
Tabel 3.2	Jumlah dan Ukuran Penampang Benda Uji Modulus Elastisitas.....	15
Tabel 4.1	Hasil Analisa Agregat Halus	23
Tabel 4.2	Hasil Analisa Agregat Kasar	25
Tabel 4.3	Perencanaan <i>Mix Design</i> untuk 20 MPa	26
Tabel 4.4	Rasio Proporsi Aktual (dalam kg) <i>Mix Design</i> untuk 20 MPa.....	27
Tabel 4.5	Campuran Material Benda Uji Beton Silinder.....	27
Tabel 4.6	Berat Isi Rata – Rata Beton.....	28
Tabel 4.7	Nilai Uji Slump Beton Silinder.....	29
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Uji Kuat Tekan.....	30
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Pembacaan Alat Regangan Dial (<i>Extensometer</i>).....	34
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut Rumus ASTM C-46942	36
Tabel 4.11	Hasil Uji Modulus Elastisitas Menurut SK SNI T – 15 – 1991 ($1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$).....	38
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Berdasarkan SK SNI T – 15 – 1991 ($W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$).....	39
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut Alat PUNDIT PL-200	42
Tabel 4.14	Nilai Modulus Elastisitas <i>Strain Gauge</i>	43
Tabel 4.15	Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas dengan Alat <i>extensometer</i> dan <i>strain gauge</i>	43
Tabel 4.16	Nilai Modulus Elastisitas Alat <i>Compression Strength Machine</i> dengan alat PUNDIT PL 200.....	45
Tabel 4.17	Hubungan Nilai Modulus Elastisitas Menurut Alat <i>Compression</i> <i>Strength Machine</i> dengan alat PUNDIT PL-200	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Tegangan tekan (<i>compressive stress</i>) pada beton silinder.....	5
Gambar 2.2	Regangan (<i>strain</i>).....	6
Gambar 2.3	Kurva stress-strain untuk kondisi tekan pada agregat, pasta semen dan beton.....	7
Gambar 2.4	Kurva tegangan-regangan beton dengan berbagai variasi kuat tekan.....	7
Gambar 2.5	Uji modulus elastisitas menggunakan <i>extensometer</i> dan <i>strain gauge</i>	9
Gambar 2.6	Pergerakan partikel pada gelombang <i>P-waves</i> (kiri) dan <i>S-waves</i> (kanan).....	10
Gambar 2.7	Pergerakan partikel pada gelombang permukaan: <i>Love-Waves</i> (kiri) dan <i>Rayleigh-Waves</i> (kanan).....	11
Gambar 2.8	Skema perambatan gelombang Gelombang P dan Gelombang S.....	12
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian.....	16
Gambar 3.2	Skema titik pengujian upv pada benda uji silinder.....	18
Gambar 3.3	Proses kalibrasi awal alat uji pundit PL-200.....	19
Gambar 3.4	Tampilan data hasil pengujian modulus elastisitas menggunakan aplikasi PL-link.....	21
Gambar 3.5	Grafik rencana hubungan modulus elastisitas beton alat PUNDIT PL-200 dengan alat <i>compression strength machine</i>	21
Gambar 4.1	Grafik hubungan tegangan dan regangan 15.84 MPa.....	33
Gambar 4.2	Grafik hubungan tegangan dan regangan 15.84 MPa.....	35
Gambar 4.3	<i>Wave form</i> PUNDIT PL-200.....	41
Gambar 4.4	Uji modulus elastisitas dengan menggunakan <i>strain gauge</i>	42
Gambar 4.5	Grafik bubungan kuat tekan dengan modulus elastisitas.....	46
Gambar 4.6	Grafik bubungan kuat tekan dengan modulus elastisitas.....	48
Gambar 4.7	Grafik hubungan modulus elastisitas beton alat PUNDIT PL-200 dengan alat <i>compression strength machine</i>	49

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil Analisis Agregat Halus	55
Lampiran 2	Hasil Analisis Agregat Kasar	60
Lampiran 3	Hasil Perencanaan <i>Mix Design</i>	64
Lampiran 4	Berat Isi Beton	96
Lampiran 5	Hasil Uji Modulus Elastisitas Menggunakan Alat <i>Compression Strength Machine (extensometer)</i>	97
Lampiran 6	Hasil Uji Modulus Elastisitas Menggunakan <i>Strain Gauge</i>	175
Lampiran 7	Hasil Uji Modulus Elastisitas Menggunakan Alat PUNDIT PL-200	198
Lampiran 8	Dokumentasi Pengujian dan Penelitian	203

Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Fatimah Azzahra Fitri, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2017, *Analisis Modulus Elastisitas Beton Menggunakan Alat PUNDIT PL-200* Dosen Pembimbing : Eva arifi dan Roland Martin S.

Berbagai penelitian dan percobaan modulus elastisitas di bidang beton dilakukan sebagai upaya untuk menjawab tuntutan pemakaian beton yang semakin tinggi serta mengetahui kondisi terkini dan kualitas material pada pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Dalam pengujian modulus elastisitas beton ini, ada dua macam pengujian yaitu *non-destructive test* dan *destructive test*. *Non-Destructive Test (NDT)* merupakan metode pengujian beton yang tidak merusak sampel, dengan menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*. Metode ini membutuhkan penggunaan alat yang akan membantu mendapatkan hasil modulus elastisitas beton langsung di lapangan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sejauh mana hubungan hasil modulus elastisitas di laboratorium dengan menggunakan alat *compression strength machine* dan pengujian yang bersifat tidak merusak (*Non-Destructive Test*) dengan menggunakan alat PUNDIT PL-200. Sampel yang digunakan adalah berbentuk silinder berdiameter 15cm dan tinggi 30cm dan mutu beton yang direncanakan 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Jumlah sampel sebanyak 36 sampel terdiri 9 sampel berbentuk silinder setiap mutu beton yang direncanakan. Sampel diuji pada umur 28 hari, dengan terlebih dahulu dilakukan perawatan sebelum pengujian. Dari penelitian diperoleh bahwa modulus elastisitas beton yang tertinggi pada kuat tekan beton 20,36 MPa dan modulus elastisitas yang terendah terdapat pada kuat tekan 16,97 MPa. Dan dari hasil pengujian modulus elastis beton menggunakan alat *compression strength machine (extensometer)* hasil regresi *extensometer* dan metode ASTM C-469 saling sejajar sedangkan hasil pengujian modulus elastisitas beton menggunakan alat PUNDIT PL-200 digambarkan modulus elastis relatif pada angka 3000 MPa. Hubungan antara alat *compression strength machine* dan alat PUNDIT PL-200 kecenderungan linier dan r yang mendekati nol menandakan hubungan antar variabel yang lemah atau bahkan tidak terdapat hubungan sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang dihasilkan alat *compression strength machine* dan modulus elastisitas alat PUNDIT PL-200 tersebut tidak menunjukkan hubungan yang signifikan.

Kata Kunci : Modulus Elastisitas, UPV, PUNDIT PL-200

Halaman ini sengaja di kosongkan

SUMMARY

Fatimah Azzahra Fitri, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, Concrete Elasticity Modulus Analysis Using PUNDIT PL-200, Academic Supervisor : Eva arifi dan Roland Martin S..*

Various studies and experiment in modulus of elasticity of concrete has done as the effort to answers the requirement of concrete higher usage also knowing the up to date condition and materials quality on implementation of work in the field. In this modulus of elasticity of concrete's testing, there are two kind of testing, non-destructive test and destructive test.

Non-destructive test (ndt) is a concrete testing method that does not damage the sample using the ultrasonic pulse velocity (upv). This method requires the use of tools that will help get the result of modulus of elasticity of concrete in the field. The purpose of this study is to know how far the relation of modulus of elasticity in laboratories using compression strength machine tools and non-destructive testing using PUNDIT PL-200 tools. The sample is cylinder in shape; the diameter is 15 cm and height 30 cm. The planned of quality of the concrete is 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa and 35 MPa. The number of samples is 36 samples consist of 9-cylinder sample. The sample is tested at 28 days old with upkeep first before tested. From the study obtained that the highest modulus of elasticity of concrete on compressive strength of concrete 20.36 MPa and the lowest is 16.97 MPa. And from the result from the compression strength machine (extensometer) and astm C469-02 method is parallel, while the result of study using pundit pl-200 described that modulus of elasticity is relative at 3000 MPa. The relation between compression strength machine tools and PUNDIT PL-200 tools is tend to linier and r close to zero mean that the relation of variable is weak or even there is no relation at all. This shows that there is no relation between the results of modulus of elasticity using compression strength machine tools and PUNDIT PL-200.

Key words : modulus of elasticity, UPV, PUNDIT PL-200

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan konstruksi di Indonesia secara umum, tidak lepas dari penggunaan beton karena banyak keuntungan yang di berikan. Diantaranya bahan-bahan pembentuk beton yang mudah di peroleh, mudah dibentuk, mampu memikul beban, tahan terhadap temperature tinggi dan biaya pemeliharaan kecil. Beton juga memiliki keunggulan pada kuat tekan yang baik sehingga digunakan sebagai pembentuk struktur utama pada konstruksi. Selain kekuatan, dalam perencanaan suatu konstruksi beton membutuhkan pengujian yang terencana.

Salah satu parameter pengujian beton yang penting adalah modulus elastisitas. Modulus elastisitas digunakan untuk pengukuran sifat - sifat *elastic* suatu bahan. Sifat bahan beton adalah non linear atau elasto-plastik, dimana beton akan menunjukkan deformasi permanen akibat pembebanan jika tidak melihat kemampuan elastic pada beton. Hal ini penting untuk mengetahui kondisi terkini dari kualitas material pada bangunan eksisting.

Dalam pengujian modulus elastisitas beton ini, ada dua macam pengujian yaitu *non-destructive test* dan *destructive test*. *Destructive test* dapat dilakukan di laboratorium, namun memerlukan sampel uji yang harus disiapkan dan dibawa kelabotarioium untuk di uji. Setelah pengujian, sampel uji tidak dapat di gunakan lagi karena pengujian bersifat merusak. Oleh karena itu *Non-Destructive Test (NDT)* menjadi salah satu alternative metode pengujian beton agar tidak merusak sampel.

Salah satu metode pengujian *Non-Destructive Test (NDT)* adalah menggunakan kecepatan pulsa ultrasonic atau *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*. Dengan cara tersebut, nantinya akan didapatkan nilai modulus elastisitas pada beton. Berdasarkan uraian diatas maka penulis ingin mengetahui hubungan antara pengujian modulus elastisitas yang dihasilkan alat *compression strength machine* di laboratorium dan pengujian dengan alat PUNDIT PL-200 yang bersifat tidak merusak sampel atau *Non-Destructive Test (NDT)*

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka dapat diambil rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai modulus elastisitas yang dihasilkan oleh alat PUNDIT PL-200?
2. Bagaimana hubungan antara hasil yang digambarkan alat PUNDIT PL-200 dengan alat *compression strength machine* di laboratorium?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah merupakan unsur yang diperlukan untuk memperjelas ruang lingkup dalam penelitian, maka dari itu diberikan beberapa batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Menggunakan beton silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm
2. Beton yang diteliti menggunakan 4 variasi kuat tekan rencana (f'_c) yaitu: kuat tekan 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa dan 35 MPa.
3. Pengujian benda uji menggunakan alat PUNDIT PL-200 dan *compression strength machine* pada saat beton 28 hari.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumus masalah, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hasil modulus elastisitas menggunakan alat PUNDIT PL-200
2. Untuk mengetahui hubungan antara hasil yang digambarkan alat PUNDIT PL-200 dengan alat *compression strength machine*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi praktisi lapangan, antara lain :
 - a. Sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan *Non-Destructive Test (NDT)* untuk pengujian modulus elastisitas beton di lapangan.
 - b. Sebagai referensi pemilihan alat yang bisa menggantikan penggunaan alat di laboratorium
2. Bagi kalangan akademisi:
Sebagai informasi data hasil modulus elastisitas beton untuk bahan pertimbangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton normal memiliki berat satuan 2.200 kg/m^3 sampai 2.500 kg/m^3 dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah (SNI, 2002).

2.1 Material Pembentuk Beton

2.1.1 Agregat

Agregat adalah bahan-bahan campuran beton yang saling diikat oleh perekat semen (Gideon, 1993). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehinggal seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar. (Nawy, 1998). Agregat terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. Agregat kasar (kerikil, batu pecah) agregat kasar memiliki ukuran butir lebih besar dari 4,75 mm atau ukuran saringan no.4 (ASTM). Modulus kehalusan = 7,49 – 9,55 (ASTM C 35-37)
2. Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200. Modulus kehalusan = 2,3 – 3,1 (ASTM C 35-37)

2.1.2 Semen Portland

Menurut Peraturan Beton 1989 (SKBI. 1.4.53.1989) dalam ulasannya di halaman 1, membagi semen portland menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu:

1. Jenis I adalah semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Jenis II adalah semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Jenis III adalah semen portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.

4. Jenis IV adalah semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah. Biasanya digunakan pada konstruksi dam / bendungan, dengan tujuan panas yang terjadi sewaktu hidrasi merupakan faktor penentu bagi keutuhan beton.
5. Jenis V adalah semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Digunakan untuk beton yang lingkungannya mengandung sulfat, terutama pada tanah / air tanah dengan kadar sulfat tinggi.

2.1.3 Air

Air digunakan sebagai bahan pencampur dan pengaduk beton untuk mempermudah pekerjaan. Menurut PBBI 1971 N.I.-2, pemakaian air sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air harus bersih
2. Tidak mengandung lumpur
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam, zat organik
4. Tidak mengandung minyak dan alkali.
5. Tidak mengandung senyawa asam.

2.2 Perencanaan Campuran Beton

Menghitung campuran dalam beton untuk benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dapat menggunakan metode DOE (*Department of Environment*). Campuran beton merupakan suatu perpaduan dari proporsi material penyusunnya. Pada dasarnya perancangan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum.

2.3 Kuat Tekan Beton

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton yaitu:

1. Faktor air semen (FAS) dan kepadatan.

Kekuatan beton bergantung pada perbandingan faktor air semennya. Semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton, namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Ada batasan dalam hal ini, nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Tri Mulyono, 2004).

2. Umur beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Karena beton ini termasuk bahan yang sangat awet (ditinjau dari pemakaiannya), maka sebagai standar kuat tekan akan ditetapkan waktu beton berumur 28 hari. Menurut PBI-1971.

3. Jenis dan jumlah semen

Jenis semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton, sesuai dengan tujuan penggunaannya. Jenis-jenis semen dapat sesuai dengan SK SNI M-106-1990-03.

4. Sifat agregat

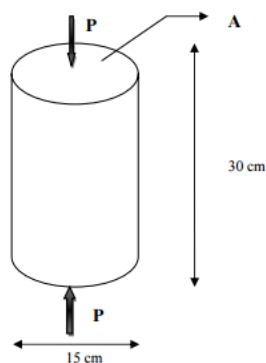
- Kekerasan permukaan: pada agregat dengan permukaan kasar akan terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut.
- Kekerasan agregat kasar.
- Gradasi agregat

2.4 Tegangan dan Regangan Beton

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya (P) persatuan luas disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani " σ " (sigma).

2.4.1 Tegangan Beton

Yaitu apabila benda uji ditekan dengan gaya P , dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi terbagi rata di seluruh penampang, kita dapat melihat bahwa hasilnya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A .



Gambar 2.1 Tegangan tekan (*compressive stress*) pada beton silinder

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh penampang, Dengan demikian didapatkan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (2 - 1)$$

dimana:

σ = Tegangan (N/mm^2)

P = beban aksial (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

2.4.2 Regangan Beton

Jika suatu benda ditekan atau ditarik gaya P yang diterima benda mengakibatkan adanya ketegangan antar partikel dalam material yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini menyebabkan adanya pergeseran struktur material himpitan atau regangan yang besarnya juga berbanding lurus. Karena adanya pergeseran, maka terjadilah deformasi bentuk material misalnya perubahan panjang menjadi $L + \Delta L$ (atau $L - \Delta L$). Dimana L adalah panjang awal benda dan ΔL adalah perubahan panjang yang terjadi. Rasio perbandingan antara ΔL terhadap L inilah yang disebut *strain* (regangan) dan dilambangkan dengan “ ϵ ” (epsilon). Dengan demikian didapatkan rumus:

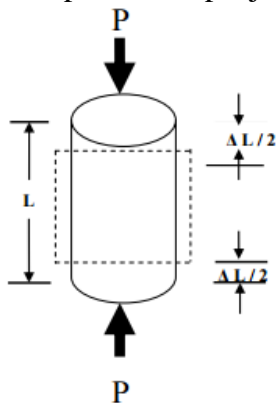
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2 - 2)$$

dimana:

ϵ = regangan/ strain ($\mu\text{m/m}$ atau $\mu\epsilon$)

L = panjang benda mula-mula (m)

ΔL = perubahan panjang benda (μm)

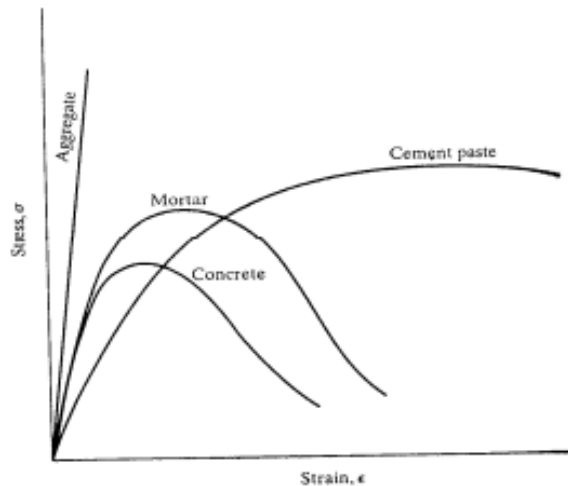


Gambar 2.2 Regangan (*strain*)

Jika batang tersebut mengalami tekan, maka regangannya adalah regangan tekan (*compressive strain*) dan batang tersebut memendek. Jika batang tersebut mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik (*tensile strain*), yang menunjukkan perpanjangan bahan. regangan tekan bertanda negatif dan regangan tarik bertanda positif. Regangan (ϵ) disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal (Gere, Timoshenko, 1997).

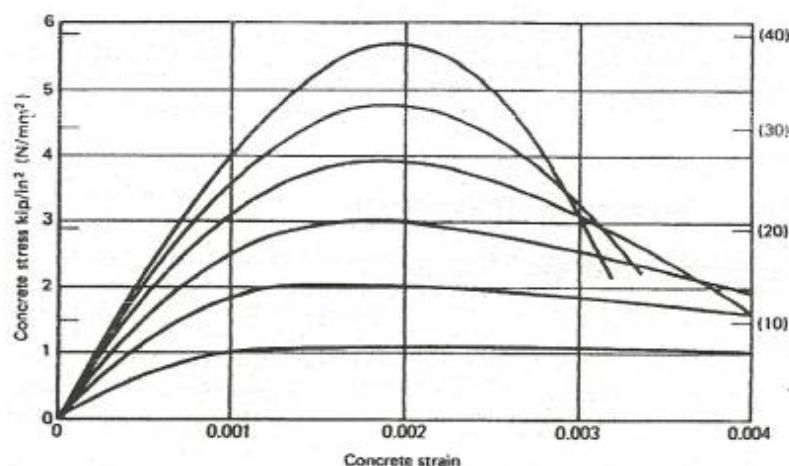
2.5 Kurva Tegangan dan Regangan Beton

Kurva tegangan-regangan mempunyai bentuk yang berbeda-beda tergantung dari bahannya. Berdasarkan (A.M.Neville,2003) gambar dibawah adalah salah satu kurva tegangan-regangan tipikal untuk agregat, pasta semen, dan beton sebagai berikut



Gambar 2.3 Kurva stress-strain untuk kondisi tekan pada agregat, pasta semen dan beton (Sumber: *Properties of Concrete*, A.M.Neville, 2003)

Dalam gambar 2.4 dimana ditunjukkan kurva tegangan-regangan tertekan untuk beton dan mortar, pastasemen dan agregat kasar. Agregat kasar adalah suatu material getas elastis linier, dengan kekuatan signifikan diatas beton. Pasta semen mempunyai nilai modulus elastisitas rendah, tetapi kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan mortar atau beton. Penambahan agregat halus ke pasta semen menjadi mortar mengakibatkan suatu peningkatan modulus elastisitas, tetapi mereduksi kekuatan. Penambahan agregat kasar ke mortar, dalam ilustrasi diatas, hanya sedikit mempengaruhi modulus elastisitas, tetapi mengakibatkan penambahan reduksi kuat tekan.



Gambar 2.4 Kurva tegangan-regangan beton dengan berbagai variasi kuat tekan (Sumber: *Properties of Concrete*, A.M.Neville, 2003)

2.6 Modulus Elastisitas Statis

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Dari pengujian tekan silinder beton 15/30 dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 469-02 sebagai berikut:

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots (2 - 3)$$

dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton (kg/m^3) σ_2 = Tegangan pada 40% teg. runtuh (kg)

σ_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ε_1 (m^3)

ε_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat σ_2 (m^3)

ε_1 = Regangan sebesar 0.00005 (m^3)

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton, untuk W_c diantara 1500 dan 2500 kg/m^3 rumus yang digunakan adalah:

$$E_c = 0,043 \times W_c^{1,5} \times f'_c{}^{0,5} \dots\dots\dots (2 - 4)$$

Sedangkan apabila $W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$ maka:

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2 - 5)$$

dimana:

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

W_c = Berat isi beton (kg/m^3)

f'_c = Kuat tekan beton berumur 28 hari (MPa)

Pengujian modulus elastisitas biasanya menggunakan *extensometer* atau *strain gauge*. Namun pada penelitian ini, peneliti menggunakan alat PUNDIT PL-200 untuk menguji modulus elastisitas beton. Namun pembacaan regangan pada *dial extensometer* dilihat untuk setiap penambahan beban dengan interval tertentu sebagai hubungan yang dihasilkan antara dua alat ini.



Gambar 2.5 Uji modulus elastisitas menggunakan *extensometer* dan *strain gauge*
Sumber: Dokumentasi Penelitian

2.7 Modulus Elastisitas Dinamis

Modulus elastisitas dinamis, yang berkorespondensi dengan regangan-regangan sesaat yang sangat kecil, biasanya diperoleh dari uji sonik. Nilainya biasanya lebih besar 20%-40% daripada nilai modulus elastisitas statis dan kira-kira sama dengan modulus nilai awal. Modulus elastisitas dinamis ini biasanya dipakai pada analisa struktur dengan beban gempa atau tumbukan.

2.8 Rasio Poisson

Ketika sebuah beton menerima beban tekan, silinder tersebut tidak hanya berkurang tingginya tetapi juga mengalami ekspansi dalam arah lateral. Perbandingan ekspansi lateral dengan pendekatan longitudinal ini disebut sebagai rasio poisson (*Poisson's ratio*). Nilainya bervariasi mulai dari 0,11 untuk beton mutu tinggi dan 0,21 untuk beton mutu rendah, dengan nilai rata-rata 0,16. Belum ditemukan adanya hubungan langsung antara nilai rasio poisson ini dengan nilai-nilai lain, seperti perbandingan air-semen, lamanya perawatan, ukuran agregat, dan sebagainya.

2.9 Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*

Ultrasonic pulse velocity adalah metode yang digunakan untuk mengukur kecepatan hantaran dari gelombang (*pulse velocity*) ultrasonik yang melewati suatu beton. Standar atau prosedur dalam menggunakan metode pengujian ini dapat dilihat pada ASTM C 597.

2.10 Jenis-Jenis Gelombang Mekanik

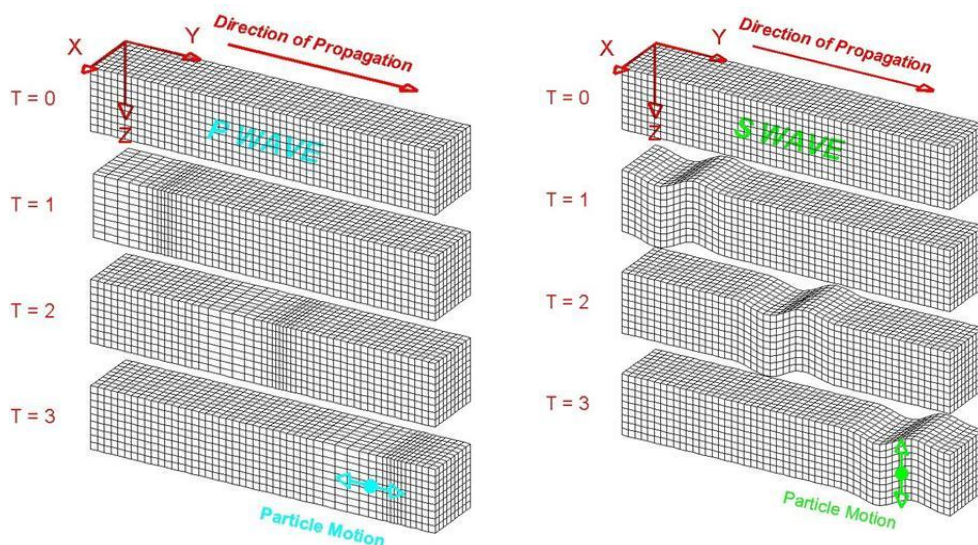
Gelombang mekanik merupakan gelombang yang membutuhkan medium ketika merambat (Halliday & Resnick, 1996). Medium yang dilalui gelombang mekanik dapat berupa benda padat, cair, atau gas. Gelombang mekanik menyalurkan energi pada partikel dalam medium rambatnya, sehingga dalam perambatannya terjadi pergerakan dan interaksi antar partikel. Tiga jenis gelombang mekanis akan timbul ketika suatu permukaan dari media padat elastis yang besar diberikan beban dinamis maupun getaran, yaitu:

1. Gelombang kompresi atau longitudinal (*compressional waves* atau *P-waves*)

P-waves juga disebut gelombang kompresi karena memberikan tegangan tekan dan tarik (tegak lurus arah rambatnya) pada medium rambatnya. Gelombang ini mampu merambat melalui segala jenis medium baik padat, cair, maupun gas. *P-waves* memiliki kecepatan rambat yang paling cepat, tetapi amplitudonya paling kecil di antara gelombang-gelombang lainnya.

2. Gelombang geser atau transversal (*shear waves* atau *S-waves*)

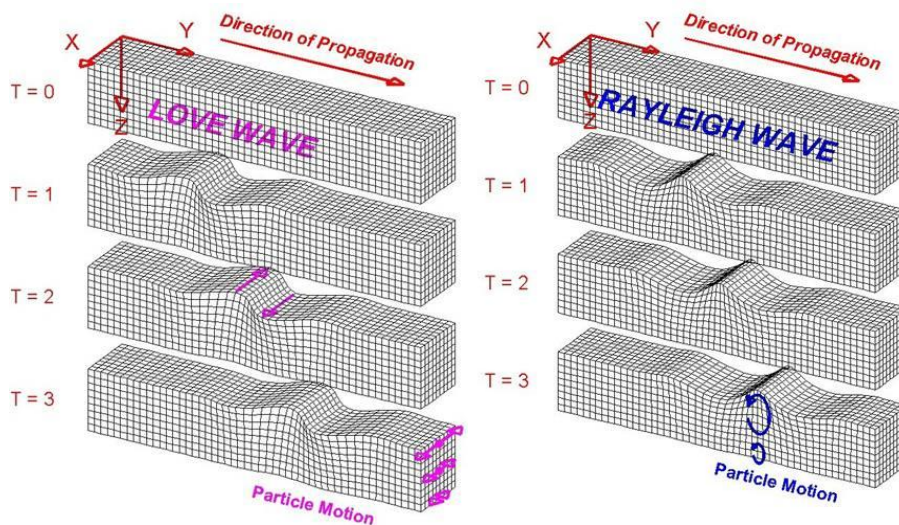
S-waves menimbulkan tegangan geser pada partikel dalam medium rambatnya. Pada gelombang ini partikelnya berosilasi secara tegak lurus dengan arah rambatan (transversal). Karena merambat melalui medium ruang, gelombang ini juga dibagi menjadi gerak horizontal (SH) dan gerak vertikal (SV).



Gambar 2.6 Pergerakan partikel pada gelombang *P-waves* (kiri) dan *S-waves* (kanan)

3. Gelombang permukaan (*surface waves*)

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang merambat melalui permukaan dan semakin mengecil apabila semakin menjauhi permukaan. Gelombang permukaan merambat lebih lambat dan frekuensinya lebih rendah dari gelombang badan (*P-waves* dan *S-waves*), tetapi memiliki amplitudo yang lebih besar. Gelombang permukaan dibagi menjadi 2 yaitu *love waves* dan *rayleigh waves*. *Love waves* merupakan gelombang yang arah gerak partikelnya tegak lurus arah rambatnya (transversal), tetapi terjadi di permukaan. Sedangkan *rayleigh waves* memiliki gerakan partikel yang *eliptik retrograde*.



Gambar 2.7 Pergerakan partikel pada gelombang permukaan: *Love-Waves* (kiri) dan *Rayleigh-Waves* (kanan)

2.11 Hubungan Gelombang P (V_p) dan Gelombang S (V_s)

Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi/gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Gelombang S disebut juga gelombang shear atau gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja.

Kecepatan rambat gelombang pada suatu lapisan batuan ditentukan oleh beberapa parameter mekanik/elastik dari lapisan batuan di mana gelombang merambat, seperti rapat massa, dan modulus elastisitas batuan. Hubungan kecepatan rambat gelombang dengan parameter mekanis batuan tersebut dituliskan sebagai berikut:

Kecepatan gelombang P,

$$V_p = \left(\frac{B + \frac{3}{4}G}{\rho} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(2-6)$$

Kecepatan gelombang S

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \dots\dots\dots(2-7)$$

dimana:

V_p = Kecepatan rambat gelombang P

V_s = Kecepatan rambat gelombang S

ρ = Rapat massa

B = Modulus Bulk

Dari kedua parameter kecepatan gelombang tersebut diatas diperoleh hubungan modulus elastisitas dan poisson ratio sebagai berikut (Cheng dan Johnston,1981; Luna dan Jadi 2000; Sutopo et al, 2009; Uyanik,2010):

$$G = \rho \times V_s^2 \dots\dots\dots(2-8)$$

$$\tau = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2} \dots\dots\dots(2-9)$$

$$E = 2G \times (1 + \tau) \dots\dots\dots(2-10)$$

dimana:

G = Modulus geser

τ = Ratio poisson

E = Modulus elastisitas



Gambar 2.8 Skema perambatan gelombang P dan gelombang S

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil FT-UB. Waktu penelitian yang dilaksanakan pada Semester Genap tahun ajaran 2016-2017.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan adalah variabel bebas dan variabel terikat. Pengertian dari variabel bebas itu sendiri adalah variabel yang mempengaruhi, yaitu faktor-faktor yang dimanipulasi dan dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara yang diamati. Sedangkan pengertian dari variabel terikat adalah faktor-faktor yang diamati untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas, faktor yang berubah sesuai dengan yang disajikan oleh peneliti. Variabel dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Variabel Penelitian

Pengujian	Modulus Elastisitas pada benda uji Silinder
Varibel Bebas	Mutu Beton
Variabel Terikat	Modulus Elastisitas

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut:

1. Satu set ayakan untuk analisis agregat, baik agregat kasar maupun agregat halus.
2. Timbangan dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 100 gr.
3. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr.
4. Sendok semen.
5. Talam.
6. Cetakan beton silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm
7. Penggaris pengukur.
8. Gerobak Pengangkut
9. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*).
10. Satu set alat uji slump beton.

11. Mesin untuk uji tekan beton (*Compression Testing Machine /Compressometer*) dengan kapasitas maksimum gaya tekan hingga 5000 KN
12. Alat pengukur Modulus Elastisitas pundit PL-200 PE .
13. Regangan *dial* (*extensometer*)
14. *Strain Gaugess*

3.3.2 Bahan Penelitian

Pengujian ini memakai bahan sebagai berikut:

1. Agregat Halus (Pasir)
2. Agregat Kasar (Kerikil)
3. Semen, *Portland Pozzolan Cement* (PPC) jenis 1
4. Air PDAM Kota Malang

3.4 Analisis Bahan

3.4.1 Agregat

Penelitian ini memakai agregat dalam keadaan kering permukaan (*Surface Saturated Dry*) dioptimalkan agar keadaannya mendekati keadaan yang sebenarnya di lapangan dan dijaga dari kotoran organik, lumpur dan sampah yang dapat merusak kualitas beton. Pengujian meliputi analisis ayakan, berat jenis, dan penyerapan berdasarkan standar ASTM C-33.

3.4.2 Semen

Semen, *Portland Pozzolan Cement* (PPC) jenis 1 merk semen Gresik yang digunakan dalam penelitian sebagai bahan untuk campuran beton tidak dilakukan pengujian secara khusus, semen dikatakan dalam keadaan baik dan layak untuk digunakan apabila semen tersebut tidak dalam keadaan mengeras atau menggumpal.

3.4.3 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini tidak dilakukan pengujian secara khusus karena merupakan air bersih yang berasal dari PDAM Kota Malang.

3.4.4 Beton

Mutu beton (f'_c) pada penelitian ini adalah sebesar 20,25,30 dan 35 MPa.

3.4.5 Rancangan Benda Uji Tekan

Untuk mengetahui mutu beton yang direncanakan sudah sesuai atau belum maka dilakukan uji tekan beton. Rancangan benda uji tekan yang dilaksanakan pada penelitian ini menggunakan mutu beton ($f'c$) sebesar 20,25,30 dan 35 MPa. Benda uji atau campuran di cetak menggunakan silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm.

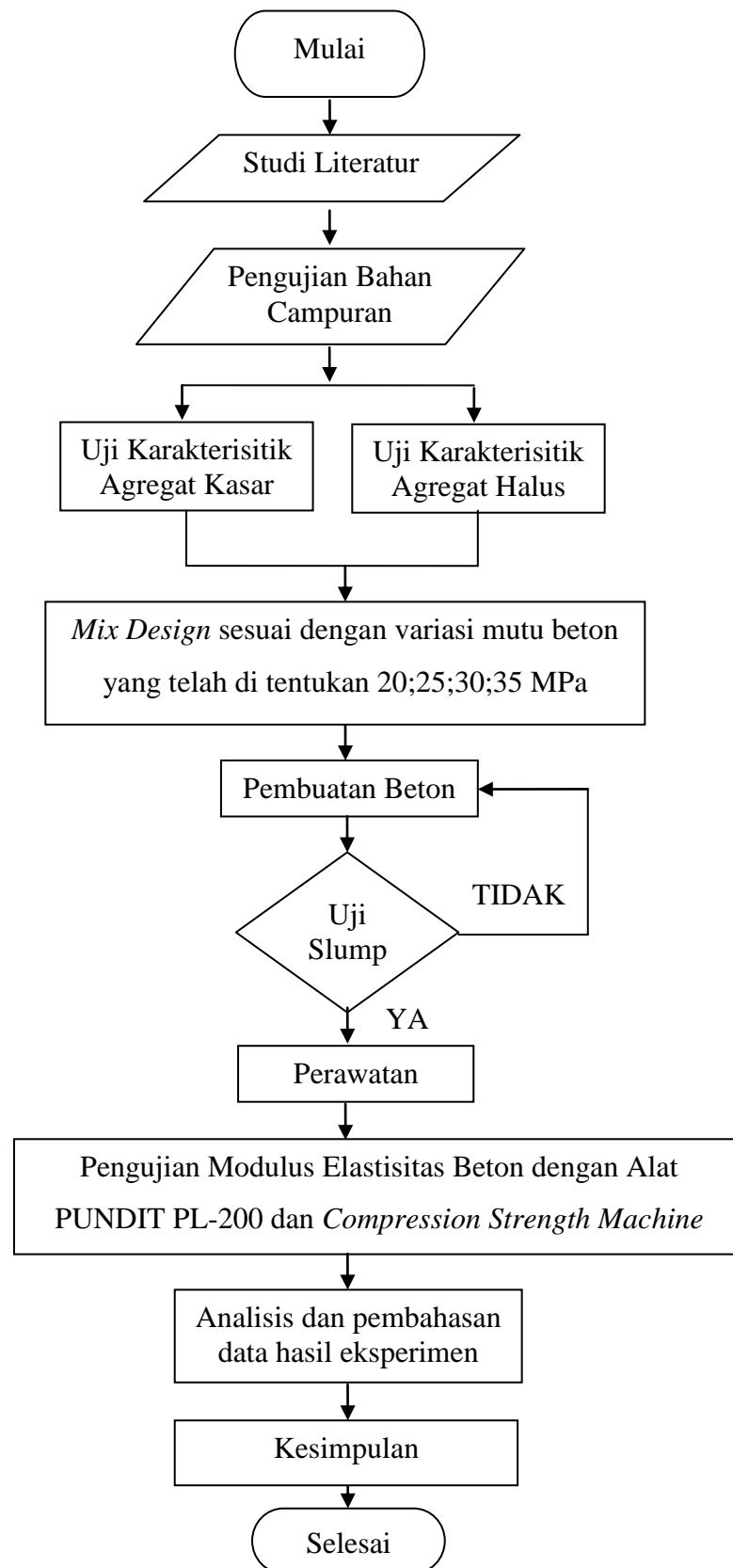
3.4.6 Rancangan Benda Uji Modulus Elastisitas

Tabel 3.2

Jumlah Benda Uji Modulus Elastisitas

Dimensi Benda Uji	Kuat Tekan Rencana	Jumlah Benda Uji
Silinder 300 mm x 150 mm	20 MPa	9 buah
	25 MPa	9 buah
	30 MPa	9 buah
	35 Mpa	9 buah

3.5 Bagan Alir Penelitian dan Pembuatan Benda Uji



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus sesuai dengan SNI-0301750-1990 yaitu menganalisa saringan, kadar air, Saturated Surface Dry (SSD), berat jenis asli dan SSD.

3.6.2 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan sesuai SNI-03-1750-1990 yaitu analisa saringan, kadar air Saturated Surface Dry (SSD), berat jenis asli dan SSD.

3.6.3 Perencanaan Campuran Beton

Benda uji ini melalui mix design dengan cara pembuatan beton normal sesuai dengan SNI-03-2834-2000. Setelah data pengujian karakteristik dari material bahan campuran diperoleh.

3.6.4 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah dari pembuatan beton silinder adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan sesuai proporsi mix desain.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder

3.6.5 Pengujian Nilai Slump

Pengujian slump ini bertujuan untuk melihat angka slump sudah memenuhi dan sesuai dengan prosedur yang ada. Bahan uji yang digunakan adalah hasil adukan dari campuran agregat dengan semen.

3.6.6 Perawatan Benda Uji

Dilakukan perawatan benda uji setelah 24 jam dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Waktu perawatan benda uji disamakan setiap variasi benda uji sesuai dengan waktu pengecorannya. Pada penelitian ini perawatan beton dihentikan dua minggu (14 hari) setelah tanggal pengecoran.

3.6.7 Pengujian Kuat Tekan

Benda uji diletakkan pada alat *compression strength machine*.

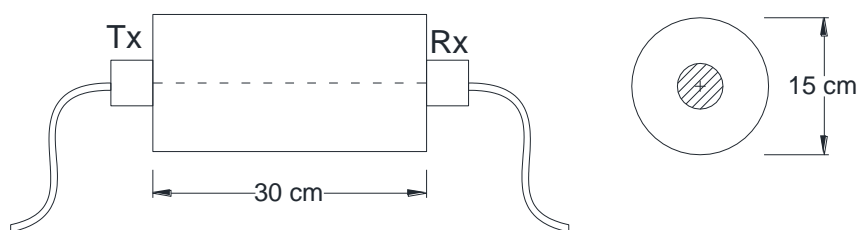
1. Benda uji harus diletakkan secara sentris terhadap alat.
2. Penambahan beban yang konstan antara 2 sampai 4 kg/m².
3. Pembebanan dilakukan pada benda uji sampai benda uji mengalami keretakan dan catat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

3.6.8 Pengujian Modulus Elastisitas

Pada penelitian ini pengujian Modulus Elastisitas di uji menggunakan alat PUNDIT PL-200 dan *compression strength machine*. Pengujian dilakukan pada benda uji beton yang telah berumur 28 hari.

1. Alat Pundit PL-200

Pengambilan data dilakukan dengan metode *direct* yaitu dengan menempatkan *transducer* pada titik tengah permukaan atas dan bawah dari benda uji yang terlihat pada gambar 3.2. Pada penelitian menggunakan *transducer* standar dengan frekuensi 54 kHz dan *S-wave transducer* 250 kHz. Hasil yang didapatkan dari pengujian alat PUNDIT PL-200 berupa nilai modulus elastisitas dalam Gpa.



Gambar 3.2 Skema titik pengujian upv pada benda uji silinder

Beberapa hal yang dilakukan dalam prosedur pengujian UPV antara lain:

- a. Meratakan dan membersihkan permukaan beton.
- b. Pada penelitian ini digunakan transduser standar dengan frekuensi 54 kHz dan *S-wave transducer* 250 kHz.
- c. Mengkalibrasi alat uji PUNDIT PL-200 dengan tujuan agar pembacaan waktu tempuh pada *transmitter* dan *receiver* sama, seperti ditunjukkan pada gambar 3.3. Kedua

transduser ditempatkan pada kedua sisi *calibration rod* yang telah disediakan dengan metode *direct*.



Gambar 3.3 Proses kalibrasi awal alat uji pundit PL-200

- d. Menentukan jarak antara kedua transducer dan *density* dari setiap benda uji pada layar PUNDIT PL-200.
- e. Memberikan gel (*couplant*) pada permukaan kontak sesuai jenis *transducer*
- f. Pengujian dilakukan pada titik yang telah ditentukan sebelumnya di setiap benda uji seperti pada gambar 3.2
- g. Pengujian pertama menggunakan *transducer standart* didapatkan waktu transmisi *P-wave*.
- h. Pengujian kedua menggunakan *transducer S-wave* didapatkan waktu transmisi *S-wave*.
- i. Berdasarkan selisih waktu transmisi *P-wave* dan *S-wave* didapatkan nilai *passion ratio* dan modulus elastisitas dalam Gpa

2. *Compression Strength Machine*

Beberapa hal yang dilakukan dalam prosedur pengujian *compression strength machine* antara lain:

- a. Menimbang berat, tinggi dan diameter benda uji
- b. Capping di berikan pada permukaan alas yang tidak rata
- c. Benda uji di grid jarak per 5 cm dan meratakan permukaan benda uji yang akan di pasang *Strain Gauge* menggunakan amplas.
- d. Memasang *Strain Gauge* pada benda uji kearah horizontal dan vertikal dari benda uji dengan menggunakan lem.
- e. Di setiap *Strain Gauge* di hubungan dengan kabel yang di tersambung pada alat pembaca regangan *strain meter*

- f. Mengatur alat *extensometer* pada benda uji. Pastikan baut dan mur pada *extensometer* dipasang dengan kencang agar tidak lepas saat pengujian.
- g. Meletakkan dial *extensometer* pada posisi tengah benda uji silinder dan pada posisi nol.
- h. Kemudian meletakkan benda uji di tengah- tengah *compression testing machine*
- i. *Compression testing machine* dijalankan dengan penambahan beban secara konstan
- j. Setiap penambahan beban sebesar 10 KN dicatat ΔL atau perpendekan yang terjadi, dapat dibaca dari dial *extensometer* dan alat pembaca *strain* meter hingga mencapai nilai P maks

- k. Menghitung tegangan (σ) dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (3 - 1)$$

- l. Menghitung regangan (ε) dengan rumus:

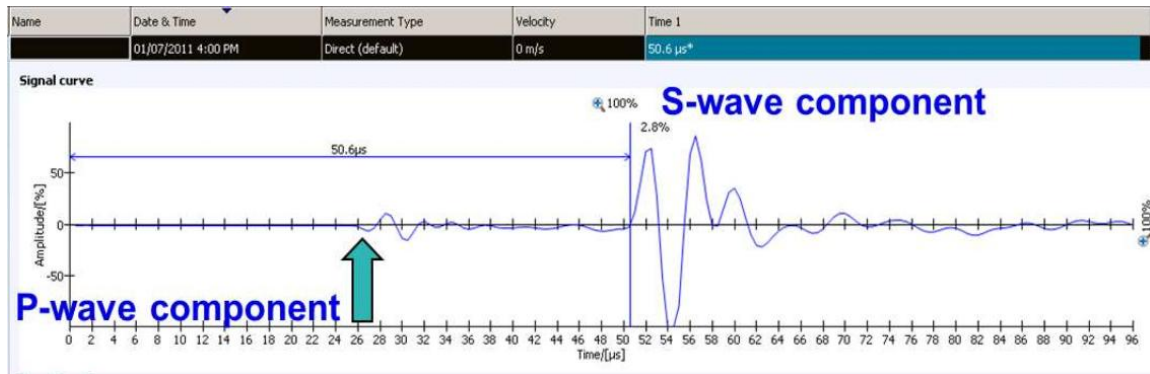
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L} \dots \dots \dots (3 - 2)$$

- m. Hasil dari perhitungan tegangan dan regangan dimasukkan pada table dan grafik. Kemudian dihitung nilai modulus elastisitas antara tegangan dan regangan sesuai dengan rumus:

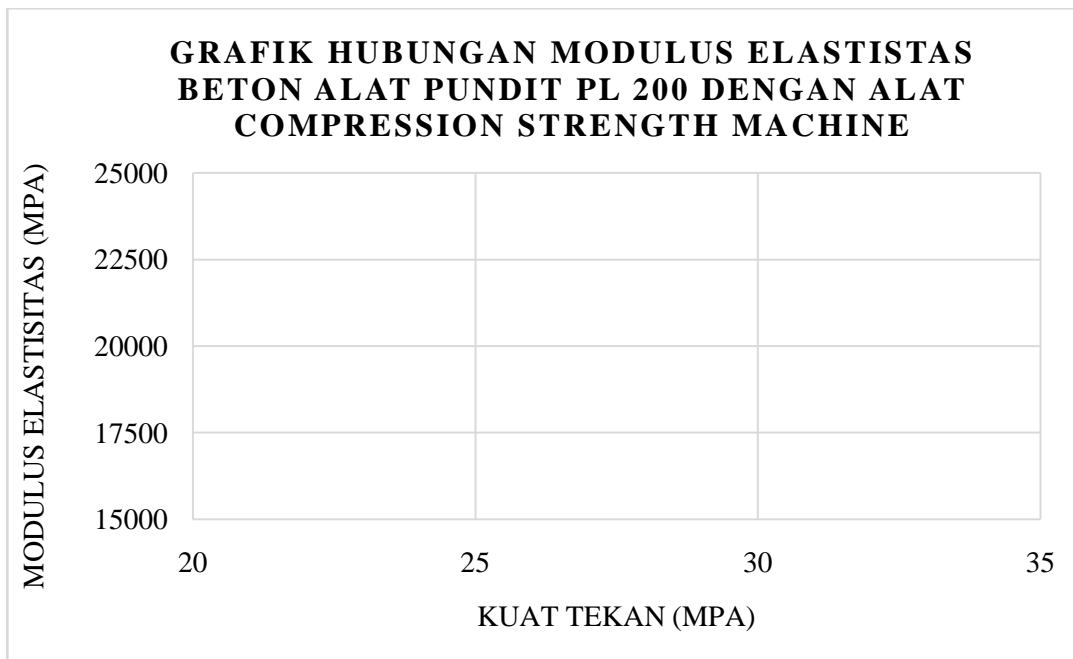
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (3 - 3)$$

3.7 Metode Analisa Penelitian

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengambilan data dilakukan dengan hasil studi literatur dan data hasil pengujian benda uji. Analisis data diperoleh dari hasil pengujian terhadap beton silinder menggunakan *compression strength machine* dan alat PUNDIT PL-200 di laboratorium. Dari pengamatan selama pengujian, didapatkan nilai beban maksimum (P_{max}) yang mampu ditahan oleh benda uji pada *compression strength machine*. Nilai P_{max} tersebut selanjutnya digunakan memperhitungkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Sedangkan untuk pengujian alat PUNDIT PL-200 menghasilkan data berupa *wave form* dari gelombang yang diterima *receiver* pada setiap benda uji dan kemudian diolah menggunakan aplikasi PL-Link di komputer. Dari setiap *wave form* tersebut didapatkan parameter gelombang yaitu waktu transmisi *P-wave* dan *S-wave* yang menghasilkan nilai modulus elastisitas satuan GPa. Sehingga didapatkan grafik hubungan antara nilai modulus elastisitas yang dihasilkan *compression strength machine* dan alata PUNDIT PL-200.



Gambar 3.4 Tampilan data hasil pengujian modulus elastisitas menggunakan aplikasi pl-link.



Gambar 3.5 Grafik rencana hubungan modulus elastisitas beton alat pundit PL-200 dengan alat *compression strength machine*

Sumber: Rancangan Penelitian

3.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari modulus elastisitas alat PUNDIT PL-200 akan lebih besar 20-40% dari pada *compression strength machine*.
2. Semakin tinggi kuat tekan benton maka semakin besar modulus elastisitas.

Halaman ini sengaja di kosongkan

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas hasil analisa modulus elastisitas pembuatan benda uji berupa beton silinder dengan menggunakan alat PUNDIT PL 200 dan alat compression strength machine serta hasil analisa material baik agregat kasar dan agregat halus

4.1 Analisa Material

4.1.1 Semen

Penelitian ini menggunakan Semen Portland (*Portland Cement*) Tipe I yang bermerk Semen Gresik. Semen ini pada umumnya sering digunakan sehingga tidak diperlukan analisis lebih lanjut.

4.1.2 Air

Pembuatan benda uji menggunakan air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) di kota Malang. Air ini pada umumnya digunakan sebagai bahan campuran beton untuk itu dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton, sehingga tidak diperlukan analisis lebih lanjut.

4.1.3 Agregat Halus

Penelitian ini menggunakan agregat halus yang berasal dari Lumajang. Karakteristik dan sifat yang dimiliki pada setiap agregat akan berbeda – beda. Maka diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui gradasi agregat, kadar air agregat, berat isi agregat dan berat jenis agregat. Agar mendapatkan hasil *mix design* yang efektif dan efisien. Berikut pada Tabel 4.1 dapat dilihat hasil analisa agregat halus.

Tabel 4.1
Hasil Analisa Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
1	Gradasi Agregat	Zona 2	Agak Kasar
2	Kadar Air	0.47 %	Berdasarkan SK-SNI-15-1990-30 Bab 4 Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton, disebutkan bahwa Kadar air agregat halus harus memenuhi harga ≤ 6.5 %. Hal ini

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
			menunjukkan bahwa agregat berada dalam kondisi kering
3	Berat Isi	1640.625 gr/cc	-
4	Berat Jenis	2.647	Nilai berat jenis (kering permukaan) agregat halus untuk pasir halus tak dipecah adalah maksimal 2.50, sehingga berat jenis dari agregat halus ini belum memenuhi standar SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal menyatakan bahwa yang telah ditentukan.
5	Penyerapan	2.270%	Menurut SK-SNI 15-1990-03 pada bab IV tentang Pengerjaan Perencanaan Beton disebutkan bahwa penyerapan air pada agregat halus untuk pasir yang diperbolehkan adalah sebesar $\leq 3.1 \%$. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa agregat halus memenuhi syarat untuk campuran beton

Sumber: Hasil Penelitian

Penjelasan dan hasil analisis mengenai uji gradasi, kadar air, berat isi, berat jenis dan penyerapan dapat dilihat pada lampiran 1.

4.1.4 Agregat Kasar

Agregat kasar pada benda uji berasal dari Lumajang yang merupakan jenis batu pecah. Sama halnya dengan agregat halus diperlukan analisis lebih lanjut mengenai gradasi agregat kasar, berat isi agregat kasar, kadar air agregat kasar dan berat jenis agregat kasar. Berikut pada Tabel 4.2 dapat dilihat hasil analisa agregat kasar.

Tabel 4.2
Hasil Analisa Agregat Kasar

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
1	Gradasi Agregat	Maksimum 40 mm	-
2	Kadar Air	5.7 %	Berdasarkan SK-SNI-15-1990-30 Bab 4 tentang Pengerjaan Perencanaan Campuran Betton disebutkan bahwa kadar air agregat kasar harus memenuhi harga ≤ 1.06 %. Dalam hal ini, kandungan air pada agregat kadar melebihi syarat yang ditetapkan, sehingga saat pengecoran harus dipastikan agregat kasar dalam keadaan kering bisa dengan diangin – anginkan di ruangan terbuka maupun dijemur agar kadar air di dalam agregat berkurang
3	Berat Isi	1575.0 gr/cc	-
4	Berat Jenis	2.713	Nilai berat jenis (kering permukaan) pada agregat kasar batu pecah maksimal adalah 2.66. Sehingga berat jenis kerikil belum memenuhi syarat yang ditetapkan sesuai SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal
5	Penyerapan	1.010 %	Menurut SK – SNI – 15 – 1990 – 03, pada bab IV tentang pengerjaan perencanaan beton disebutkan bahwa penyerapan air agregat kasar untuk kerikil ≤ 1.63 %. Artinya, presentase penyerapan sesuai dengan syarat yang ditetapkan.

Sumber: Hasil Penelitian

Penjelasan dan hasil analisis mengenai uji gradasi, kadar air, berat isi, berat jenis dan penyerapan dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.2 Perencanaan *Mix Design*

Mix Design adalah merancang dan menentukan proporsi relative pada bahan yang digunakan dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, daya tahan tertentu. Pembuatan benda uji dipersiapkan untuk pengujian modulus elastisitas.

Mutu beton yang direncanakan dalam penelitian adalah 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa dan 35 MPa. Berikut uraian perencanaan *mix design* yang dijelaskan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3

Perencanaan *Mix Design* untuk 20 MPa

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari)	20	Mpa
2	Deviasi standar	-	Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	12	Mpa
4	Kuat tekan rata-rata yg ditargetkan	32	Mpa
5	Jenis Semen	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	0.54	-
8	Faktor air semen Maksimum	0.60	-
9	Slump	60 – 180	Mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	40	Mm
11	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	379.63	kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	-	kg/m ³
14	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan butir agregat halus	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	39%	-
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2.65	kg/m ³
19	Berat isi beton	2375	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	1790.37	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	698.24	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	1092.13	kg/m ³

Sumber : Hasil Penelitian

Nilai yang diperoleh pada Tabel di atas dapat dilihat pada lampiran 4. Dari perhitungan yang terdapat pada lampiran 4 diperoleh

Tabel 4.4

Rasio Proporsi Aktual (dalam kg) *Mix Design* untuk 20 MPa

Semen	Air	Pasir	Kerikil
1.00	0.4	1.81	3.01

Pembuatan benda uji pada satu kali pengecoran membutuhkan volume 9 silinder yaitu :

$$\begin{aligned}\text{Volume 9 silinder} &= 0.005301 \text{ m}^3 \times 9 \\ &= 0.047713 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Campuran material yang dibutuhkan dalam satu kali pengecoran untuk masing-masing kuat tekan benda uji terdapat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5

Campuran Material Benda Uji Beton Silinder

Jenis Benda Uji Beton Silinder	Proporsi Campuran 0.047713 m ³ (kg)			
	Semen	Air	Agregat	Agregat
			Halus	Kasar
20 MPa	18.11	7.93	32.72	54.55
25 MPa	19.56	7.83	30.10	55.83
30 MPa	21.26	7.81	28.68	55.56
35 MPa	23.29	7.81	27.19	55.03

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3 Hasil Pengujian

4.3.1 Berat Isi Beton

Berat isi beton merupakan perbandingan berat beton (W_c) dengan volume beton silinder (V_c). Diketahui bahwa volume beton silinder (V_c) adalah sebesar 0.005301 m³.

$$\text{Berat isi} = \frac{W_c}{V_c} \dots\dots\dots (4 - 1)$$

dimana :

W_c = Berat beton (kg)

V_c = Volume beton (m³)

Contoh perhitungan :

Diketahui :

- Menghitung Berat isi benda uji 20 MPa
- Berat beton (m_c) = 13 kg
- Dimensi silinder: H (tinggi) = 30 cm = 0.30 m

$$D \text{ (diameter)} = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{- Volume silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times L \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0.15^2 \times 0.3 \\ &= 0.005301 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } W_c = \frac{12.883}{0.005301} = 2430.36 \text{ kg/m}^3$$

Pada semua benda uji dilakukan perhitungan berat isi beton untuk hasil lebih lengkapnya pada lampiran 5. Rekapitan hasil uji berat isi beton dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6

Berat Isi Rata – Rata Beton

No	Jenis Benda Uji Beton	Berat Beton	Berat Isi Beton
	silinder	Rata-rata (kg)	Rata-rata (kg/m ³)
1	20 MPa	12.883	2430.36
2	25 MPa	13.006	2453.42
3	30 MPa	13.233	2496.38
4	35 MPa	13.106	2472.28

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan perhitungan Tabel di atas, berat isi beton dengan kuat tekan 30 MPa lebih tinggi dibandingkan beton dengan kuat tekan 35 MPa. Hal ini dikarenakan dengan adanya kesalahan pada saat pemadatan mortar saat dimasukkan ke dalam cetakan silinder ini menjadi alasan menurunnya berat isi beton. Pemukulan pada bekisting silinder bertujuan untuk mengurangi pori-pori yang ada pada beton. Namun karena terjadi kesalahan seperti yang telah dijelaskan tersebut, hal ini menimbulkan banyaknya pori-pori kecil pada benda uji, yang berakibat berat beton juga berkurang.

Pada SNI 03-2834-2000 bahwa berat isi beton pada umumnya berkisar antara 2200 – 2500 kg/m³. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berat isi benda uji pada penelitian ini telah memenuhi syarat yang ditetapkan.

4.3.2 Uji *Slump*

Untuk mencapai mutu beton $f'_c = 20 \text{ MPa}$, 25 MPa , 30 MPa dan 35 MPa , perlu diperhatikan tingkat kelecakan (*workability*) dari beton.. Nilai *slump* tidak boleh di bawah batas ataupun di atas batas syarat yang telah ditentukan. Setiap pembuatan benda uji, nilai *slump* harus diperiksa dan dikontrol yang dilakukan maksimal 3 menit setelah pengadukan serta harus dipastikan dalam setiap pembuatannya, benda uji memiliki nilai *slump* yang

konstan atau tidak memiliki selisih yang jauh. Berikut pada Tabel 4.7 akan dipaparkan nilai *slump* untuk setiap benda uji.

Tabel 4.7

Nilai Uji *Slump* Beton Silinder

No	Jenis Benda Uji Beton	Nilai Slump
	silinder	(cm)
1	20 MPa	10
2	25 MPa	12.5
3	30 MPa	13
4	35 MPa	14

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil uji *slump* pada Tabel di atas diperoleh nilai slump rata – rata sebesar 9.875 cm dengan nilai terkecil 10 cm dan nilai terbesar 14 cm. Nilai slump yang tidak konsisten dikarenakan pada saat pelaksanaan pengujian terjadi beberapa kesalahan yaitu kurang cepatnya mengangkat cetakan kerucut dan kerucut diangkat dalam keadaan tidak tegak lurus. Selain itu, dalam beberapa kali pengecoran terkadang mortar dibiarkan terlalu lama (lebih dari 3 menit).

Namun, sesuai dengan syarat yang telah dijelaskan pada Bab 3 mengenai Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 mengenai “nilai-nilai slump untuk berbagai pekerjaan beton” bahwa syarat yang ditetapkan untuk pekerjaan beton pelat, balok, kolom dan dinding adalah 6 cm – 18 cm. Sehingga dapat dinyatakan bahwa nilai uji slump untuk semua benda uji memenuhi syarat yang ditetapkan.

4.3.3 Uji Kuat Tekan

Kuat tekan beton dapat dikatakan sebagai kemampuan silinder beton menahan beban tekan maksimum. Sama halnya dengan uji kuat tarik belah, beton yang diuji berupa beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta telah berumur 28 hari.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (4 - 2)$$

dimana :

f_c = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang silinder (mm²) = 0,25

Contoh perhitungan:

Misal menghitung nilai kuat tekan 15.84 MPa

Diketahui:

$$P = 280000 \text{ N}$$

$$A = 0.25 \times \pi \times (150)^2 = 17678.57 \text{ mm}^2$$

$$f_c = \frac{280000}{17678.57} = 15.84 \text{ MPa}$$

Berikut hasil uji kuat tekan beton untuk semua variasi benda uji pada Tabel 4.8

Tabel 4.8

Hasil Pengujian Uji Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
A	1	280000	15.84
	2	260000	14.71
	3	260000	14.71
	4	230000	13.01
	5	240000	13.58
	6	216000	12.22
	7	280000	15.84
	8	300000	16.97
	9	240000	13.58
B	1	380000	21.49
	2	370000	20.93
	3	380000	21.49
	4	220000	12.44
	5	360000	20.36
	6	360000	20.36
	7	380000	21.49
	8	350000	19.79
	9	370000	20.93

Kode Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
C	1	380000	21.49
	2	370000	20.93
	3	660000	37.33
	4	590000	33.37
	5	560000	31.7
	6	500000	28.28
	7	610000	34.51
	8	550000	31.11
	9	510000	28.85
D	1	380000	21.49
	2	380000	21.49
	3	420000	23.75
	4	500000	28.28
	5	360000	20.36
	6	460000	26.02
	7	440000	24.88
	8	330000	18.67
	9	480000	27.15

Sumber : Hasil Penelitian

Pengujian kuat tekan pada beton silinder dilakukan bersamaan dengan uji modulus elastisitas beton menggunakan *Compression Strength Machine* dan alat ukur regangan dial (*extensometer*). Selain itu, kuat tekan pada beton juga berhubungan dengan modulus elastisitas beton, sehingga untuk mengeliminasi beberapa data yang tidak memberikan hasil yang baik diperlukan analisis lebih lanjut hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas beton.

4.3.4 Uji Modulus Elastisitas

Uji modulus elastisitas dilakukan dengan menggunakan alat PUNDIT PL-200 dan uji kuat tekan dengan alat *Compression Strength Machine* dan dibantu alat tambahan pembaca regangan yang disebut *extensometer*. Beberapa faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas adalah kelembaban udara dan agregat penyusun beton. Dalam menghitung modulus elastisitas, peneliti mengacu pada lima jenis perhitungan modulus elastisitas, antara lain sebagai berikut :

1. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan pembacaan alat regangan dial (extensometer)

Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan pembacaan alat regangan dial (extensometer) dibantu dengan alat *Compression Streng Machine* dimana pembebanan diberikan secara konstan untuk mengetahui besar beban yang diterima dengan beban maksimum (saat beton mulai retak), untuk itu extensometer akan membaca perubahan panjang yang terjadi sehingga nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap pembebanan dapat diketahui. Adapun perhitungan modulus elastisitas dengan alat regangan dial (extensometer) :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(4 - 3)$$

dimana :

ε = Regangan/ strain (mm/mm)

L = Panjang benda awal (mm)

ΔL = Perpendekan panjang benda awal (mm)

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4 - 4)$$

dimana :

σ = Tegangan (MPa)

P = Beban aksial (KN)

A = Luas penampang benda uji (m^2)

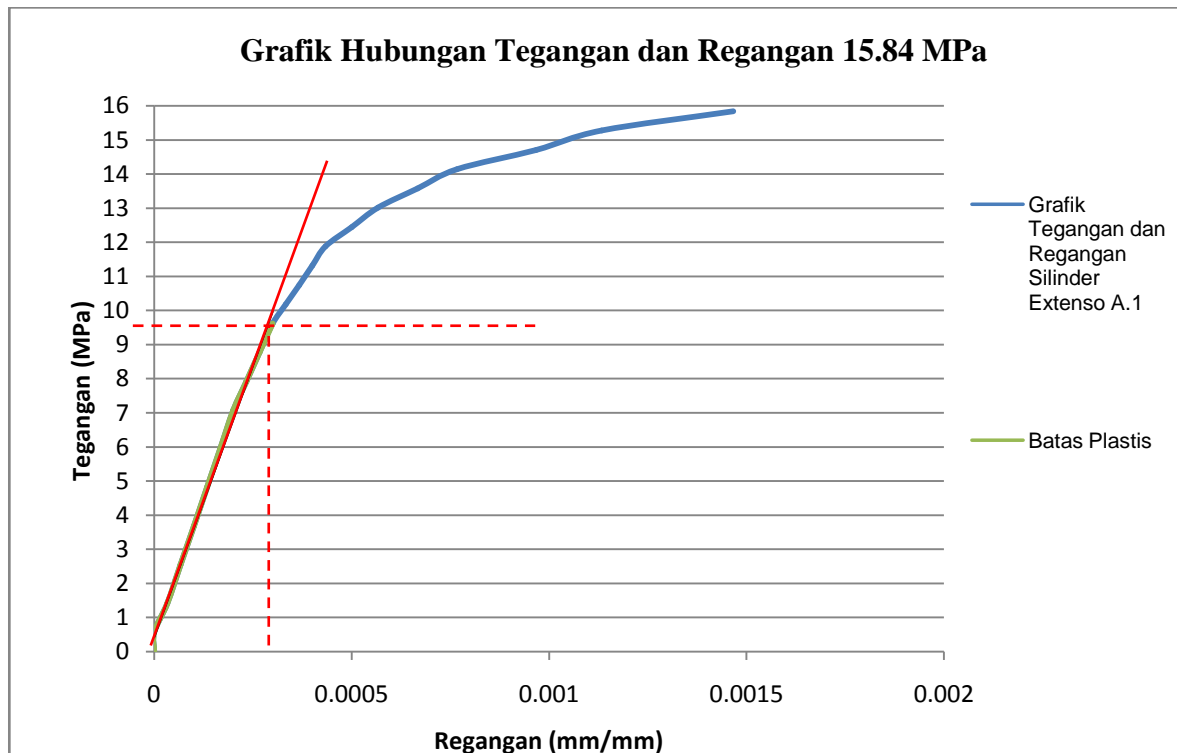
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(4 - 5)$$

dimana :

E = Modulus Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan/ strain (mm/mm)



Gambar 4.1 Grafik hubungan tegangan dan regangan 15.84 MPa

Sumber: Hasil Penelitian

Contoh perhitungan :

- Misal menghitung nilai modulus elastisitas pada benda uji 15.84 MPa
- Mengitung regangan

$$\Delta L = 0.09 \text{ mm}$$

$$L = 300 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{0.09}{300} = 0.00030 \text{ mm/mm}$$

- Menghitung tegangan

$$P = 170000 \text{ N}$$

$$A = 0.25 \times \pi \times (150)^2 = 17678.57 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{170000}{17678.57} = 9.62 \text{ MPa}$$

- Hasil pembacaan dial extensometer didapatkan hubungan tegangan dan regangan pada grafik 4.1 di atas, di buat garis bantu linear yang bersinggungan dengan grafik tersebut, sehingga diperoleh batas elastis pada tegangan 9.62 MPa dan regangan 0.00030
- Mengitung Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{9.62}{0.00040} = 32053.87 \text{ MPa}$$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan cara alat regangan dial (*extensometer*) pada Tabel 4.9

Tabel 4.9

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Pembacaan Alat Regangan Dial (*Extensometer*)

Kode Benda Uji		f'c (Mpa)	Tegangan pada batas elastis (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Modulus Elastisitas (Mpa)
A	1	15.84	9.62	0.00030	32053.87
	2	14.71	5.66	0.00030	18855.22
	3	14.71	7.92	0.00067	11878.79
	4	13.01	5.66	0.00030	23757.58
	5	13.58	8.77	0.00020	43838.38
	7	15.84	7.35	0.00023	31515.15
	8	16.97	7.92	0.00073	10798.90
	9	13.58	7.64	0.00020	36060.61
	B	1	21.49	14.14	0.00013
2		20.93	9.05	0.00037	24683.20
3		21.49	9.05	0.00043	20885.78
4		12.44	9.33	0.00020	46666.67
5		20.36	16.40	0.00033	52794.61
6		20.36	11.31	0.00047	24242.42
7		21.49	6.22	0.00047	40466.20
8		19.79	6.22	0.00047	13333.33
9		20.93	15.27	0.00027	57272.73
C	2	20.93	1.70	0.00003	50909.09
	3	37.33	24.32	0.00057	42923.35
	4	33.37	22.06	0.00047	47272.73
	5	31.7	3.96	0.00017	23757.58
	6	28.28	14.14	0.00053	26515.15
	7	34.51	15.27	0.00050	30545.45
	8	31.11	1.70	0.00003	50909.09
	9	28.85	13.58	0.00023	58181.82
	D	2	21.49	11.31	0.00023
3		23.75	14.99	0.00033	44969.70
4		28.28	12.44	0.00033	47515.15
6		26.02	16.97	0.00017	26515.15
7		24.88	14.14	0.00050	30545.45
8		18.67	3.96	0.00027	50909.09

Sumber : Hasil Penelitian

2. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan rumus ASTM C-469

Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan rumus ASTM C-469 ini disebut juga modulus chord. Adapun perhitungan modulus elastisitas chord (*chord modul*) adalah:

$$Ec = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots (4 - 6)$$

dimana:

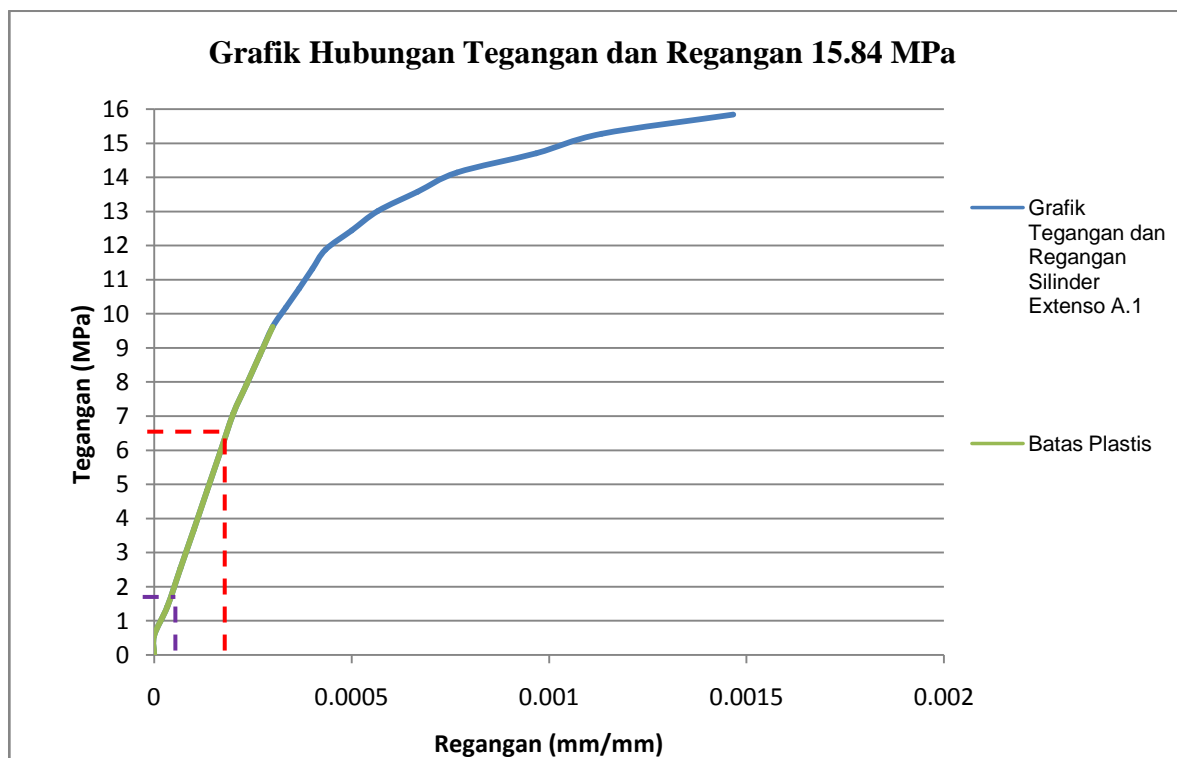
E_c = Modulus elastisitas beton (kg/m^3)

σ_2 = 40% teg. runtuh (kg)

σ_1 = Tegangan pada regangan ε_1 (m^3)

ε_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi padasaat σ_2 (m^3)

ε_1 = Regangan sebesar 0.00005 (m^3)



Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan dan regangan 15.84 mpa

Sumber: Hasil Penelitian

Contoh perhitungan :

- Misal menghitung nilai modulus elastisitas pada benda uji 15.84 MPa menggunakan rumus ASTM C-469
- Grafik hasil pembacaan dial extensometer dapat dilihat pada Gambar 4.2
- $\sigma_2 = 0.4 f'_c = 0.4 \times 15.84 = 6.34 \text{ MPa}$
- Untuk tegangan bersesuaian dengan regangan 0.00005 didapatkan dengan cara interpolasi

$$\sigma_1 = y = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_a)(\sigma_b - \sigma_a)}{(\varepsilon_b - \varepsilon_a)} + \sigma_a$$

$$= \frac{(0.00005 - 0.00003)(2.55 - 1.41)}{(0.00007 - 0.00003)} + 1.41 = 1.98 \text{ MPa}$$

- Regangan longitudinal akibat σ_2

$$\varepsilon_2 = x = \frac{(\varepsilon_b - \varepsilon_a)(\sigma - \sigma_a)}{(\sigma_b - \sigma_a)} + \varepsilon_a$$

$$= \frac{(0.00017 - 0.00020)(5.94 - 7.07)}{(0.00020 - 0.00017)} + 0.00017 = 0.00018 \text{ mm}$$

- Menghitung nilai elastisitas dengan menggunakan rumus ASTM C-469 :

$$Ec = \frac{6.34 - 1.98}{0.00018 - 0.00005} = 33939.39 \text{ MPa}$$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas berdasarkan rumus ASTM C-469 pada Tabel

4.10

Tabel 4.10

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut Rumus ASTM C-469

Kode Benda Uji	f'c (MPa)	σ2 (MPa)	σ1 (MPa)	ε2 (mm)	Modulus Elastisitas (MPa)	
A	1	15.84	6.34	1.98	0.00018	33939.39
	2	14.71	5.88	0.85	0.00031	19117.76
	3	14.71	5.88	1.27	0.00045	11622.10
	4	13.01	5.20	0.99	0.00027	18869.29
	5	13.58	5.43	1.98	0.00012	50909.09
	7	15.84	6.34	1.98	0.00018	32941.18
	8	16.97	6.79	0.85	0.00060	10798.90
	9	13.58	5.43	1.56	0.00014	42424.24
	B	1	21.49	8.60	5.94	0.00007
2		20.93	8.37	1.56	0.00033	24636.73
3		21.49	8.60	1.41	0.00041	20141.60
4		12.44	4.98	3.25	0.00009	47052.34
5		20.36	8.14	3.68	0.00013	53624.24
6		20.36	8.14	0.99	0.00035	24119.85
7		21.49	8.60	6.51	0.00010	38285.29
8		19.79	7.92	0.85	0.00060	12855.83
9		20.93	8.37	3.68	0.00010	46949.49

Sumber: Hasil Penelitian

Kode Benda Uji		f'c (MPa)	σ2 (MPa)	σ1 (MPa)	εc (MPa)	Modulus Elastisitas (Mpa)
C	2	20.93	8.37	3.25	0.00012	43139.26
	3	37.33	14.93	1.41	0.00037	42872.70
	4	33.37	13.35	4.24	0.00020	46570.25
	5	31.7	12.68	0.62	0.00056	23416.45
	6	28.28	11.31	2.40	0.00040	25454.55
	7	34.51	13.80	2.55	0.00042	30423.15
	8	31.11	12.44	3.39	0.00016	56565.66
	9	28.85	11.54	2.83	0.00020	58445.15
D	2	21.49	8.60	1.84	0.00018	53647.59
	3	23.75	9.50	1.41	0.00037	32323.23
	4	28.28	11.31	4.24	0.00020	36008.87
	6	26.02	10.41	5.37	0.00009	55937.15
	7	24.88	9.95	3.96	0.00026	28857.56
	8	18.67	7.47	3.39	0.00016	14297.30

Sumber : Hasil Penelitian

3. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan SK SNI T-15-1991

Perhitungan Modulus Elastisitas Beton berdasarkan rumus pada SK SNI – T – 15 – 1991 adalah sebagai berikut :

- a. Rumus yang digunakan untuk $1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times f_c^{0.5} \dots\dots\dots(4 - 7)$$

dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = Berat satuan beton (kg/m^3)

f_c = Kuat Tekan beton silinder (MPa)

Contoh Perhitungan :

- Misal menghitung modulus elastisitas benda uji 20 MPa

- Diketahui : $W_c = 2451.178 \text{ kg/m}^3$

$$f'_c = 15.84 \text{ MPa}$$

- Sehingga : $E_c = 0.043 \times 2451.178^{1.5} \times 15.84^{0.5}$

$$= 20767.6 \text{ MPa}$$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SK SNI T – 15 – 1991 ($1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$) pada Tabel 4.11

Tabel 4.11

Hasil Uji Modulus Elastisitas menurut SK SNI T – 15 – 1991 ($1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$)

Kode Benda Uji	f'_c (Mpa)	Tegangan pada batas elastis (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Modulus Elastisitas (Mpa)	
A	1	15.84	9.62	0.00030	20767.60
	2	14.71	7.35	0.00040	19552.12
	3	14.71	2.26	0.00013	20359.52
	4	13.01	3.96	0.00017	18389.55
	5	13.58	10.75	0.00030	19005.64
	7	15.84	7.35	0.00023	20528.43
	8	16.97	2.83	0.00020	21125.53
	9	13.58	9.62	0.00027	18237.42
	B	1	21.49	14.14	0.00013
2		20.93	6.79	0.00023	23873.06
3		21.49	4.53	0.00020	24613.46
4		12.44	10.18	0.00023	18514.81
5		20.36	14.99	0.00027	23548.24
6		20.36	11.31	0.00047	23684.23
7		21.49	16.97	0.00037	24054.08
8		19.79	3.96	0.00027	22951.49
9		20.93	15.84	0.00030	23735.47
C	2	20.93	1.13	0.00003	24232.05
	3	37.33	23.19	0.00053	32808.62
	4	33.37	21.49	0.00043	30844.60
	5	31.7	3.96	0.00017	30221.09
	6	28.28	6.79	0.00020	28880.13
	7	34.51	11.03	0.00030	31899.15
	8	31.11	3.39	0.00007	29442.90
	9	28.85	2.83	0.00007	28352.04
	D	2	21.49	9.62	0.00020
3		23.75	13.58	0.00030	24753.97
4		28.28	7.07	0.00013	28233.57
6		26.02	11.60	0.00010	28880.13
7		24.88	7.64	0.00017	31899.15
8		18.67	3.96	0.00027	29442.90

Sumber: Hasil Penelitian

b. Rumus yang digunakan untuk $W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$

$$E_c = 4700 \times f'_c{}^{0.5} \dots\dots\dots(4-8)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton berumur 28 hari (MPa)

Contoh Perhitungan :

- Misal menghitung modulus elastisitas benda uji 15.84 MPa
- Diketahui : $f'_c = 15.84 \text{ MPa}$
- Sehingga : $E_c = 4700 \times 15.84^{0.5}$
 $= 18704.81 \text{ MPa}$

Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SK SNI T – 15 – 1991 ($W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$) pada Tabel 4.12

Tabel 4.12

Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Berdasarkan SK SNI T – 15 – 1991 ($W_c = \pm 2300 \text{ kg/m}^3$)

Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Tegangan pada batas elastis (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Modulus Elastisitas (Mpa)	
A	1	15.84	9.62	0.00030	18704.81
	2	14.71	7.35	0.00040	18024.41
	3	14.71	2.26	0.00013	18024.41
	4	13.01	3.96	0.00017	16952.67
	5	13.58	10.75	0.00030	17317.29
	7	15.84	7.35	0.00023	18704.81
	8	16.97	2.83	0.00020	19361.32
	9	13.58	9.62	0.00027	17317.29
B	1	21.49	14.14	0.00013	21790.44
	2	20.93	6.79	0.00023	21501.82
	3	21.49	4.53	0.00020	21790.44
	4	12.44	10.18	0.00023	16580.04
	5	20.36	14.99	0.00027	21209.26
	6	20.36	11.31	0.00047	21209.26
	7	21.49	16.97	0.00037	21790.44
	8	19.79	3.96	0.00027	20912.61
	9	20.93	15.84	0.00030	21501.82

Kode Benda Uji	f'c (MPa)	Tegangan pada batas elastis (MPa)	Regangan pada batas elastis	Modulus Elastisitas (MPa)	
C	2	20.93	1.13	0.00003	21501.82
	3	37.33	23.19	0.00053	28717.47
	4	33.37	21.49	0.00043	27151.90
	5	31.7	3.96	0.00017	26452.60
	6	28.28	6.79	0.00020	24995.35
	7	34.51	11.03	0.00030	27608.27
	8	31.11	3.39	0.00007	26215.35
	9	28.85	2.83	0.00007	25244.07
D	2	21.49	9.62	0.00020	21790.44
	3	23.75	13.58	0.00030	21790.44
	4	28.28	7.07	0.00013	24995.35
	6	26.02	11.60	0.00010	24995.35
	7	24.88	7.64	0.00017	27608.27
	8	18.67	3.96	0.00027	26215.35

Sumber: Hasil Penelitian

4. Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan pembacaan alat PUNDIT PL-200

Perhitungan Modulus Elastisitas berdasarkan pembacaan alat PUNDIT PL-200 menggunakan kecepatan rambat gelombang material. Dengan cara, pertama menginput jarak antar transduser, pada penelitian ini tinggi dari benda uji silinder 30 cm. Selanjutnya menggunakan transduser standart didapatkan waktu transmisi P-wave dan menggunakan transduser S-wave didapatkan waktu transmisi S-wave. Berdasarkan selisih waktu transmisi P-wave dan S-wave didapatkan poisson ratio, dengan perhitungan poisson ratio dan rapat massa material (*density*) alat PUNDIT PL-200 menghasilkan modulus elastisitas dalam GPa.

Pada penelitian ini penulis juga menghitung modulus elastisitas secara teori dengan menggunakan persamaan berikut :

$$G = \rho \times V_s^2 \dots\dots\dots(4 - 9)$$

$$\tau = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2(V_p/V_s)^2 - 2} \dots\dots\dots(4 - 10)$$

$$E = 2G \times (1 + \tau) \dots\dots\dots(4 - 11)$$

dimana :

G = Modulus geser

ρ = Rapat massa

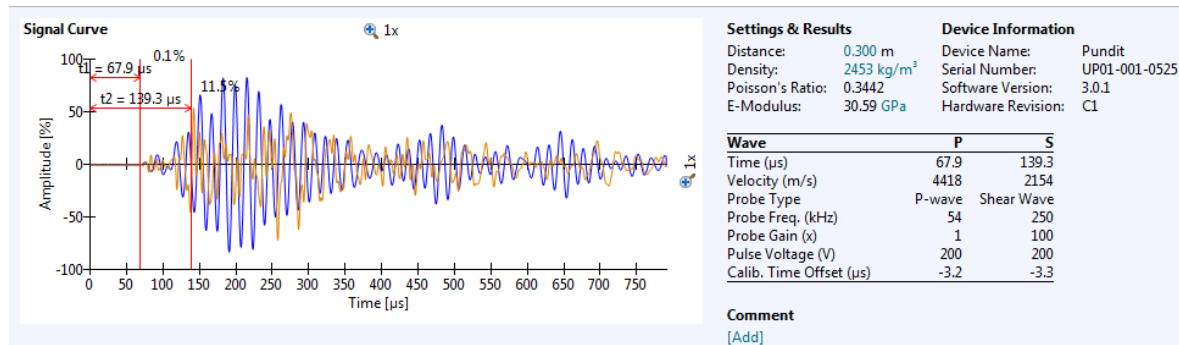
τ = Poisson ratio

V_p = Kecepatan rambat gelombang P

V_s = Kecepatan rambat gelombang S

Contoh pembacaan alat PUNDIT PL-200 :

- Misal menghitung nilai modulus elastisitas pada benda uji 15.84 MPa
- Hasil pembacaan alat PUNDIT PL-200 pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Wave form PUNDIT PL-200

Sumber: Hasil Aplikasi

- Didapatkan hasil modulus elastisitas sebesar 30.59 GPa

Contoh perhitungan secara teori :

- Pada pembacaan alat PUNDIT PL-200 didapatkan :

$$\text{Density } (\rho) = 2453 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Poisson ratio } (\tau) = 0.3442$$

$$\text{Kecepatan rambat gelombang P } (V_p) = 4418 \text{ m/s}$$

$$\text{Kecepatan rambat gelombang S } (V_s) = 2154 \text{ m/s}$$

- Menghitung Modulus Geser

$$G = 2453 \text{ kg/m}^3 \times 2154^2 \text{ m/s} = 11381.22 \text{ MPa}$$

- Menghitung Poisson Ratio

$$\tau = \frac{(4418/2154)^2 - 2}{2(4418/2154)^2 - 2} = 0.3441$$

- Menghitung Modulus Elastisitas

$$E = 2 \times 11381.22 \times (1 + 0.3442) = 30595 \text{ MPa} = 30.59 \text{ GPa}$$

Dapat dilihat nilai modulus elastisitas yang dihasilkan alat PUNDIT PL-200 jika di bandingkan dengan secara teori menghasilkan nilai yang sama. Berikut hasil pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan alat PUNDIT PL-200 pada Tabel 4.13

Tabel 4.13

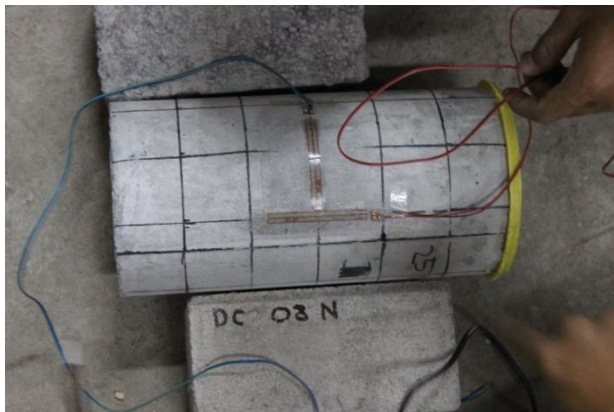
Hasil Pengujian Uji Modulus Elastisitas Menurut Alat PUNDIT PL-200

Kode Benda Uji	F'c (MPa)	Modulus Elastisitas	Modulus Elastisitas
		(GPa)	(MPa)
A	1	15.84	30.59
	3	14.71	30.27
	4	13.01	30.77
B	1	21.49	31.67
	2	20.93	31.64
	3	21.49	31.81
C	2	20.93	46.61
	3	37.33	31.76
D	2	21.49	31.04
	3	23.75	31.54

Sumber: Hasil Penelitian

5. Perhitungan Modulus Elastisitas (*Strain Gauge*)

Sebagai data pendukung atau data pembanding, peneliti juga mencoba melakukan uji modulus elastisitas dengan menggunakan alat yang disebut *strain gauge*. Namun pada penelitian ini hanya 3 benda uji untuk satu kuat tekan rencana yang diuji dengan menggunakan *strain gauge*.

Gambar 4.4 Uji modulus elastisitas dengan menggunakan *strain gauge*

Sumber: Dokumentasi Penelitian

Pengujian modulus elastisitas dengan *strain gauge* ini dilakukan bersamaan dengan uji modulus elastisitas menggunakan *extensometer* dan uji kuat tekan dengan mesin yang sama pula yaitu *compression testing machine*. *Strain gauge* dipasang ke arah horizontal dan arah vertikal dari benda uji, kemudian ujung kabel dipasang ke *strain meter* yang berfungsi untuk membaca regangan dari benda uji ketika menerima beban tekan.

Pada pengujian di dapatkan data ΔL arah vertikal dan arah horizontal, dengan menggunakan metode perhitungan yang sama dengan *extensometer*, berikut pada Tabel 4.14 dapat dilihat nilai modulus elastisitas yang dihasilkan pada beberapa benda uji

Tabel 4.14

Nilai Modulus Elastisitas *Strain Gauge*

Kode Benda Uji	f'c (Mpa)	Tegangan pada batas elastis (Mpa)	Regangan pada batas elastis	Modulus Elastisitas (Mpa)			
				Strain Gauge	ASTM C469	SKSNI T-15-1991 (1)	SKSNI T-15-1991 (2)
A	1	15.84	7.92	0.00027	29222.11	28563	20767.60
	3	14.71	7.35	0.00017	44033.15	43162	20359.52
	4	13.01	5.66	0.00026	21924.67	20971	18389.55
B	1	21.49	13.01	0.00038	34327.44	34213	24193.52
	2	20.93	9.62	0.00026	37416.97	36660	23873.06
	3	21.49	9.05	0.00027	34152.85	33701	24613.46
C	2	20.93	14.71	0.00041	36224.31	36660	24232.05
	3	37.33	19.23	0.00046	42083.86	42367	32808.62
D	2	21.49	11.88	0.00033	36326.57	36786	24753.97
	3	23.76	8.48	0.00033	25633.98	25408	24753.97

Sumber: Hasil Penelitian

Perbandingan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dengan menggunakan alat *extensometer* dan *strain gauge* pada table 4.15

Tabel 4.15

Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas dengan Alat Extensometer dan Strain Gauge

Metode Perhitungan	Kode Benda Uji	Nilai Modulus Elastisitas (Mpa)		Presentase Selisih	
		<i>Extensometer</i>	<i>Strain gauge</i>		
Kemiringan kurva tegangan dan regangan $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$	A	1	32053.87	29222.11	9%
		3	18855.22	44033.15	134%
		4	11878.79	21924.67	85%
	B	1	33939.39	34327.44	1%
		2	24683.20	37416.97	52%
		3	20885.78	34152.85	64%
	C	2	50909.09	36224.31	29%
		3	42923.35	42083.86	2%
	D	2	48484.85	36326.57	25%
		3	44969.70	25633.98	43%

Metode Perhitungan	Kode Benda Uji	Nilai Modulus Elastisitas (Mpa)		Presentase Selisih	
		Extensometer	Strain gauge		
ASTM C469	A	1	33939.39	28563	10%
		3	19117.76	43162	133%
		4	11622.10	20971	25%
	B	1	39878.79	34213	34%
		2	24636.73	36660	27%
		3	20141.60	33701	51%
	C	2	43139.26	36660	8%
		3	42872.70	42367	1%
	D	2	53647.59	36786	27%
		3	32323.23	25408	45%
SKSNI T-15-1991 (1)	A	1	20767.60	20767.60	16%
		3	19552.12	19552.12	126%
		4	20359.52	20359.52	80%
	B	1	24193.52	24193.52	14%
		2	23873.06	23873.06	49%
		3	24613.46	24613.46	67%
	C	2	24232.05	24232.05	15%
		3	32808.62	32808.62	1%
	D	2	24753.97	24753.97	31%
		3	24753.97	24753.97	21%
SKSNI T-15-1991 (2)	A	1	18704.81	18704.81	0%
		3	18024.41	18024.41	4%
		4	18024.41	18024.41	10%
	B	1	21790.44	21790.44	0%
		2	21501.82	21501.82	0%
		3	21790.44	21790.44	0%
	C	2	21501.82	21501.82	0%
		3	28717.47	28717.47	0%
	D	2	21790.44	21790.44	0%
		3	21790.44	21790.44	0%

Sumber: Hasil Penelitian

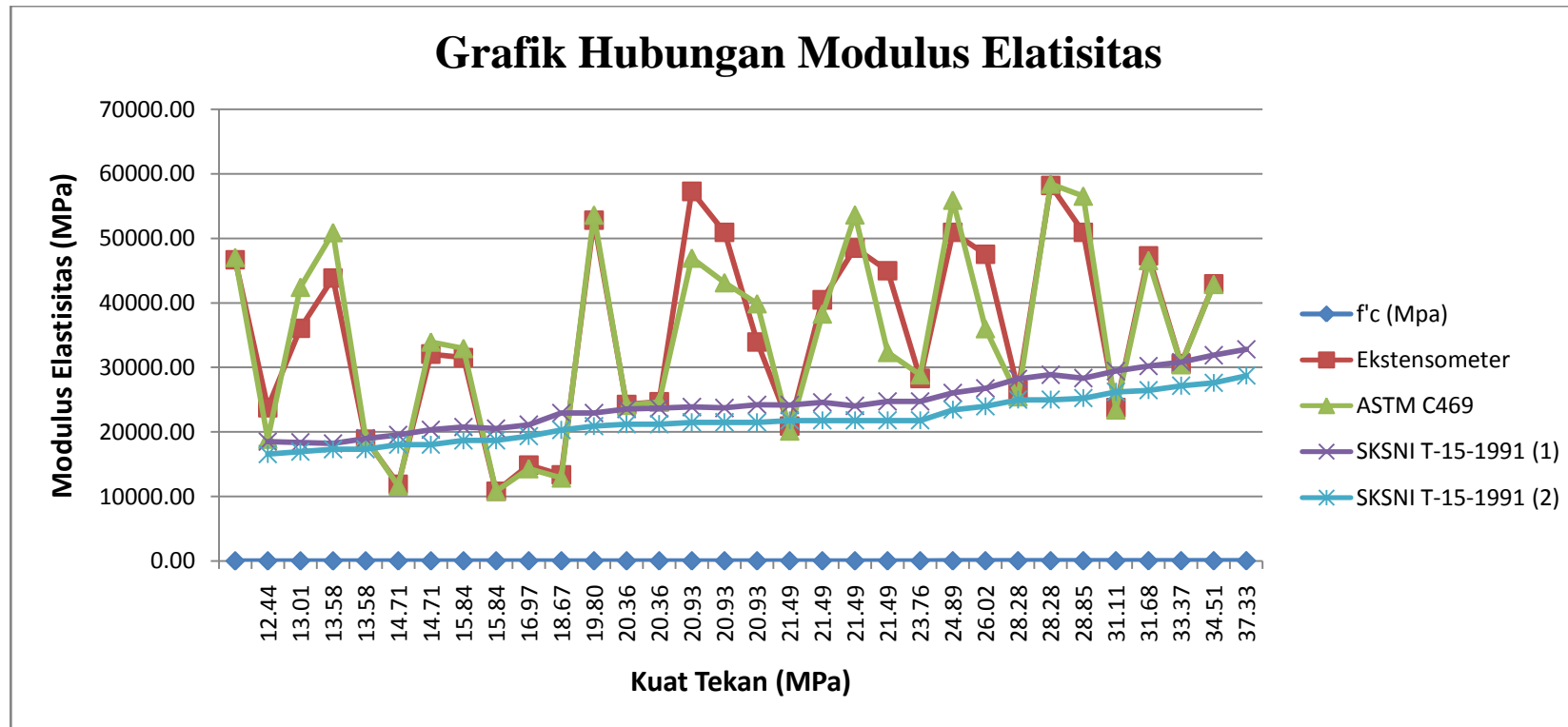
Berdasarkan perbandingan nilai modulus elastisitas untuk beberapa benda uji yang dihasilkan dengan menggunakan alat *compression strength machine (extensometer)* memiliki selisih yang sangat jauh dengan nilai modulus elastisitas yang dihasilkan dengan menggunakan alat *strain gauge*. Bahkan selisihnya melebihi 100% untuk metode perhitungan berdasarkan cara tegangan dibagi regangan dan ASTM C-469, hal ini dikarenakan grafik hubungan tegangan dan regangan yang dihasilkan juga berbeda. Berbeda halnya dengan cara SKSNI T-15-1991 (1) dan (2) yang menghasilkan nilai yang hampir sama karena hanya dipengaruhi oleh berat isi dan kuat tekannya saja.

Tabel 4.16

Nilai Modulus Elastisitas alat *Compression Strength Machine* dengan alat PUNDIT PL-200

KODE BENDA UJI		f _c (Mpa)	Ekstensometer	ASTM C469	SKSNI T-15-1991		PUNDIT PL 200
					$(0.043 \times W_c^{1.5} \times \sqrt{f'_c})$ (1)	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$ (2)	
B	4	12.44	46666.67	47052.34	18514.81	16580.04	-
A	4	13.01	23757.58	18869.29	18389.55	16952.67	30770
A	9	13.58	36060.61	42424.24	18237.42	17317.29	-
A	5	13.58	43838.38	50909.09	19005.64	17317.29	-
A	2	14.71	18855.22	19117.76	19552.12	18024.41	-
A	3	14.71	11878.79	11622.10	20359.52	18024.41	30270
A	1	15.84	32053.87	33939.39	20767.60	18704.81	30590
A	7	15.84	31515.15	32941.18	20528.43	18704.81	-
A	8	16.97	10798.90	10798.90	21125.53	19361.32	-
D	8	18.67	14848.48	14297.30	22937.06	20306.32	-
B	8	19.80	13333.33	12855.83	22951.49	20912.61	-
B	5	20.36	52794.61	53624.24	23548.24	21209.26	-
B	6	20.36	24242.42	24119.85	23684.23	21209.26	-
B	2	20.93	24683.20	24636.73	23873.06	21501.82	31640
B	9	20.93	57272.73	46949.49	23735.47	21501.82	-
C	2	20.93	50909.09	43139.26	24232.05	21501.82	46610
B	1	21.49	33939.39	39878.79	24193.52	21790.44	31670
B	3	21.49	20885.78	20141.60	24613.46	21790.44	31800
B	7	21.49	40466.20	38285.29	24054.08	21790.44	-
D	2	21.49	48484.85	53647.59	24753.97	21790.44	31040
D	3	23.76	44969.70	32323.23	24753.97	21790.44	31540
D	7	24.89	28282.83	28857.56	26063.61	23447.72	-
D	6	26.02	50909.09	55937.15	26772.38	23974.70	-
D	4	28.28	47515.15	36008.87	28233.57	24995.35	-
C	6	28.28	26515.15	25454.55	28880.13	24995.35	-
C	9	28.85	58181.82	58445.15	28352.04	25244.07	-
C	8	31.11	50909.09	56565.66	29442.90	26215.35	-
C	5	31.68	23757.58	23416.45	30221.09	26452.60	-
C	4	33.37	47272.73	46570.25	30844.60	27151.90	-
C	7	34.51	30545.45	30423.15	31899.15	27608.27	-
C	3	37.33	42923.35	42872.70	32808.62	28717.47	31760

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.5 Grafik hubungan kuat tekan dengan modulus elastisitas

Sumber: Hasil Penelitian

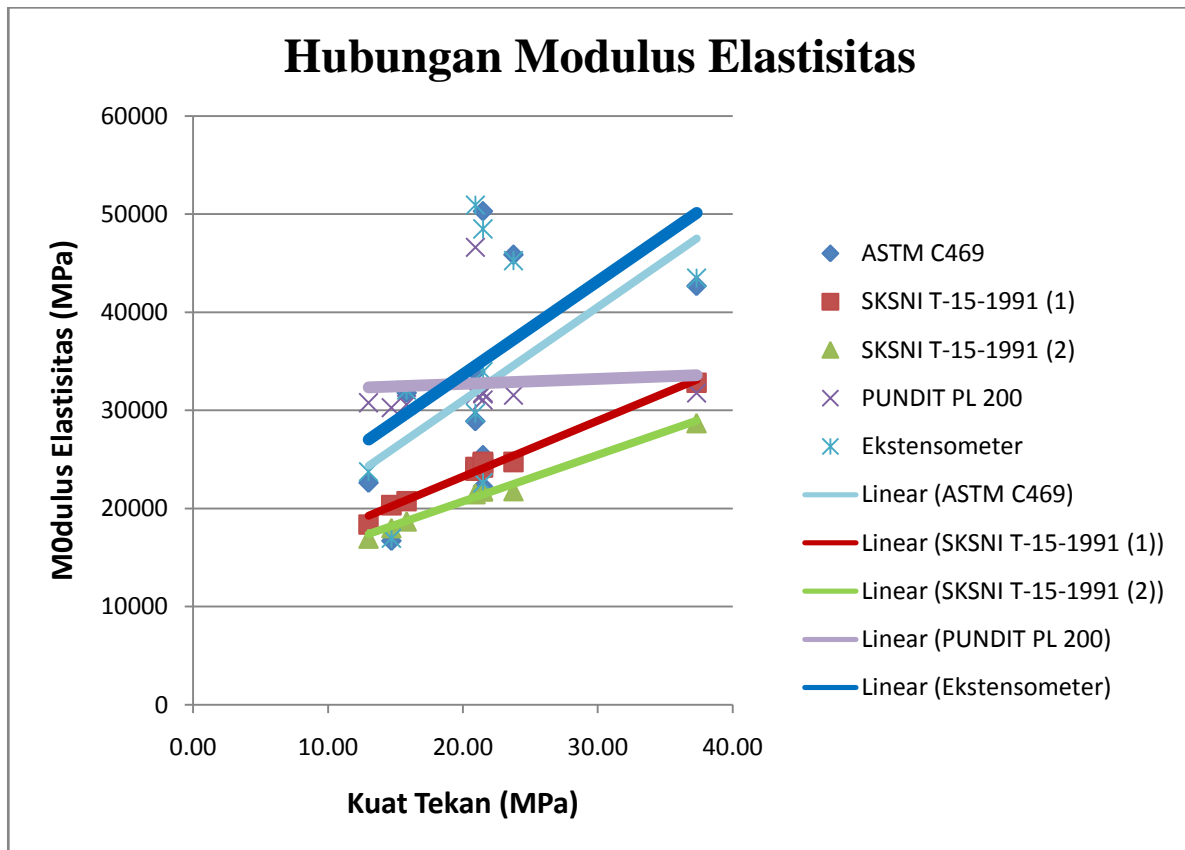
Pada Gambar 4.5 menjelaskan grafik hasil modulus elastisitas beton sesuai dengan perhitungan cara *extensometer*, ASTM C-469, SKSNI T-15-1991 (1) dan SKSNI T-15-1991 (2) untuk masing – masing benda uji. Beberapa benda uji yang diberi warna berbeda pada Tabel 4.16 merupakan benda uji yang datanya digunakan untuk mengetahui hubungan modulus elastisitas yang dihasilkan alat *Compression Strength Machine* dengan alat PUNDIT PL-200 karena alasan pengujian pada alat PUNDIT PL-200 hanya dilakukan pada 10 benda uji. ‘

Tabel 4.17

Hubungan Nilai Modulus Elastisitas alat *Compression Strength Machine* dengan alat PUNDIT PL-200

f _c (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)					Presentase Selisih antar Metode Perhitungan			
	1	2	3	4	5	1 dan 5	2 dan 5	1 dan 3	1 dan 2
	Ekstensometer (MPa)	ASTM C469 (MPa)	SKSNI T-15-1991 (1) (MPa)	SKSNI T-15-1991 (2) (MPa)	PUNDIT PL 200 (MPa)				
13.01	23757.58	22644	18389.55	16952.67	30770	23%	26%	29%	5%
14.71	16969.7	16727	20359.52	18024.41	30270	61%	45%	42%	29%
15.84	32053.87	31799	20767.60	18704.81	30590	5%	4%	54%	1%
20.93	29696.97	28914	23873.06	21501.82	31640	22%	9%	3%	15%
20.93	50909.09	33939	24232.05	21501.82	46610	9%	27%	110%	50%
21.49	33939.39	25455	24193.52	21790.44	31670	7%	20%	40%	33%
21.49	22626.26	22262	24613.46	21790.44	31800	34%	30%	15%	6%
21.49	48484.85	50303	24753.97	21790.44	31040	56%	62%	96%	4%
23.76	45252.53	45874	24753.97	21790.44	31540	43%	45%	82%	2%
37.33	43484.85	42686	32808.62	28717.47	31760	35%	34%	31%	1%
Rata – Rata Presentase Selisih						29%	30%	50%	14%

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4.6 Grafik hubungan kuat tekan dengan modulus elastisitas
Sumber: Hasil Penelitian

Pada Gambar 4.6 menjelaskan hubungan hasil modulus elastisitas alat *compression strength machine* dan alat PUNDIT PL-200 terhadap kuat tekan. Hasil regresi pengolahan data dengan menggunakan metode *extensometer* dan ASTM C-469 saling sejajar. Berbeda halnya dengan hasil perhitungan modulus elastisitas yang menggunakan alat PUNDIT PL-200. Kedua metode perhitungan dengan cara SK SNI T-15-1991 juga menghasilkan garis yang saling sejajar hanya saja pada metode ini hanya dipengaruhi oleh berat isi beton dan kuat tekan pada saat benda uji hancur saja.

Pada Tabel 4.17 dituliskan nilai presentase selisih untuk masing – masing metode perhitungan modulus elastisitas. Presentase selisih yang terkecil terdapat pada perbandingan metode perhitungan *extensometer* dan ASTM C-469 dengan rata-rata presentase selisih sebesar 14%. Dalam hal ini, rumus *extensometer* dan ASTM C-469 lebih cocok digunakan untuk menghitung modulus elastisitas nilai tegangan dan regangan pada batas elastis dalam perhitungannya dibandingkan dengan SK SNI T-15-1991 yang dalam perhitungannya hanya dipengaruhi oleh dipengaruhi oleh kuat tekan saat benda uji hancur dan berat isi beton sedangkan alat PUNDIT PL-200 dipengaruhi kecepatan rambat gelombang dan jarak antar transduser yang memungkinkan ketidak sejajaran dalam menangkap gelombang.

Sedangkan yang kita tahu bahwa modulus elastisitas merupakan kekakuan dari suatu bahan yang merupakan nilai perbandingan tegangan dan regangan dari bahan tersebut. Seperti yang dijelaskan pada rumus dibawah ini :

$$Ec = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{P \times L}{A \times \Delta L} \dots\dots\dots(4 - 12)$$

dimana :

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan

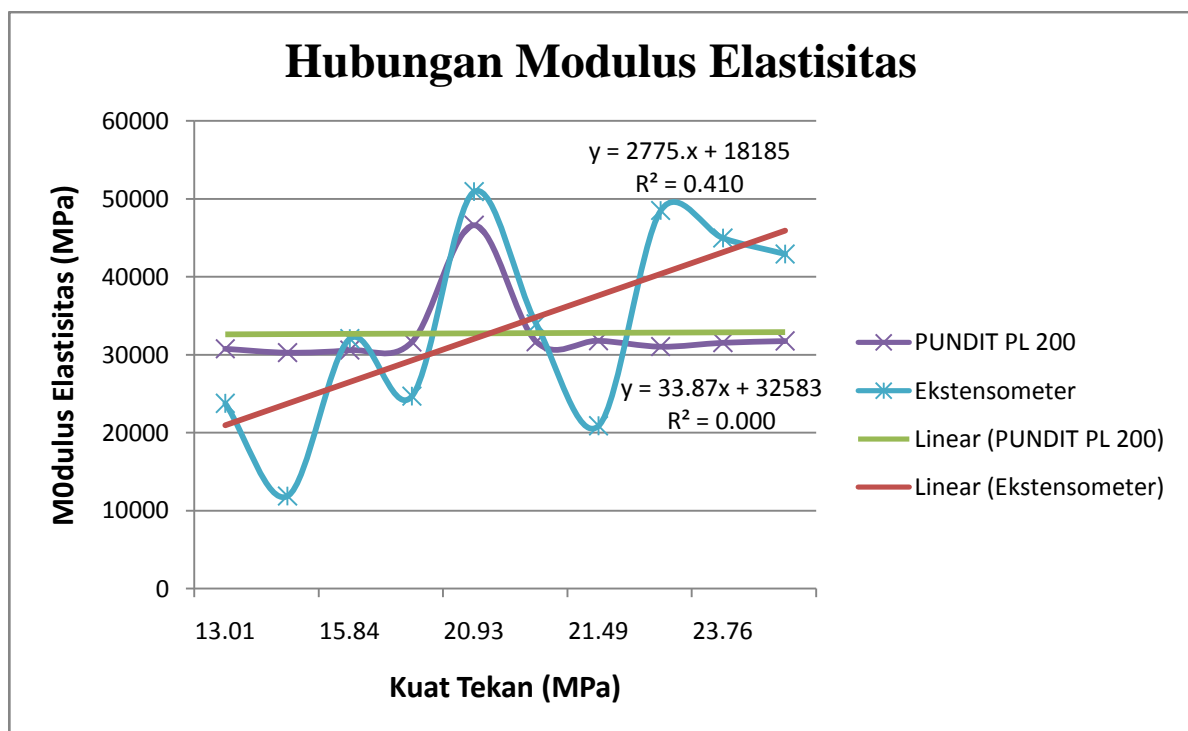
P = Beban Maksimum (N)

A = Luas (mm²)

L = Panjang (mm)

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

Berdasarkan hasil tersebut dapat digambarkan hubungan modulus elastisitas yang dihasilkan *Compression Strength Machine (extensometer)* dengan alat PUNDIT PL-200



Gambar 4.7 Grafik hubungan modulus elastisitas beton alat PUNDIT PL-200 dengan alat *compression strength machine*

Sumber: Hasil Penelitian

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat pada kuat tekan yang sama 20.93 MPa alat *compression strength machine* dan alat PUNDIT PL-200 menghasilkan modulus elastisitas tertinggi. Alat *compression strength machine* pada nilai kuat tekan 14.71 MPa, 21.49 MPa, 23.76 MPa,

37.33 MPa modulus elastisitasnya menurun. Pada kuat tekan yang sama alat PUNDIT PL-200 menghasilkan modulus elastisitas yang relatif pada angka 3000 MPa.

Menurut Anto Dajan (1983), koefisien korelasi (r) dapat dianggap sebagai pengukuran yang berguna tentang hubungan antara x (variabel bebas) dan y (variabel terikat) bila kecenderungan titik-titik koordinat membentuk suatu garis linier. Bila kecenderungan sedemikian itu linier, r yang mendekati nol menandakan hubungan antar variabel yang lemah atau bahkan tidak terdapat hubungan sama sekali. Koefisien determinasi (R^2) menggambarkan persentase jumlah variasi yang betul-betul dapat dijelaskan oleh regresi liniernya. Hubungan nilai koefisien determinasi (R^2) rendah yaitu 0.41 atau 41% untuk alat *compression strength machine* dan 0 atau 0% untuk alat PUNDIT PL-200 ditunjukkan pada Gambar 4.7. Hal ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang dihasilkan alat *compression strength machine* dan modulus elastisitas alat PUNDIT PL-200 tersebut tidak menunjukan hubungan yang signifikan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Hasil uji modulus elastisitas terhadap beton dengan menggunakan alat PUNDIT PL 200 menunjukkan bahwa beton menghasilkan nilai modulus elastisitas yang relatif pada angka 3000 MPa pada kuat tekan yang berbeda. Pada pengujian modulus elastisitas menggunakan alat PUNDIT PL-200 berpengaruh pada ketidak sejajaran *tranduser* dikarenakan pengujian ini menggunakan kecepatan rambat gelombang, sehingga gelombang yang di terima oleh tranduser tidak terbaca dengan baik.
2. Hubungan nilai koefisien determinasi (R^2) rendah yaitu 0.425 atau 42.5% untuk alat *compression strength machine* dan 0 atau 0% untuk alat PUNDIT PL-200 ditunjukkan pada Gambar 4.7. Hal ini menunjukkan bahwa pada pengujian ini modulus elastisitas yang dihasilkan alat *compression strength machine* dan modulus elastisitas yang dihasilkan alat PUNDIT PL-200 tersebut tidak menunjukkan hubungan yang signifikan

5.2 Saran

Saran yang bisa digunakan untuk penelitian selanjutnya untuk memperbaiki kekurangan dari penelitian ini, antara lain adalah :

1. Mencari dan menganalisis metode yang benar ketika pengecoran, agar alat bekerja secara optimal saat dilakukan uji modulus elastisitas dan uji kuat tekan.
2. Mencari dan menganalisis metode yang benar pada penempatan tranduser yang sejajar pada benda uji yang akan di lakukan.
3. Pembatasan nilai kuat tekan beton, namun dengan jumlah sampel yang lebih banyak.
4. Perlu penelitian lebih lanjut dengan menambah jumlah sampel mengenai modulus elastisitas dengan menggunakan gelombang *ultrasonic*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

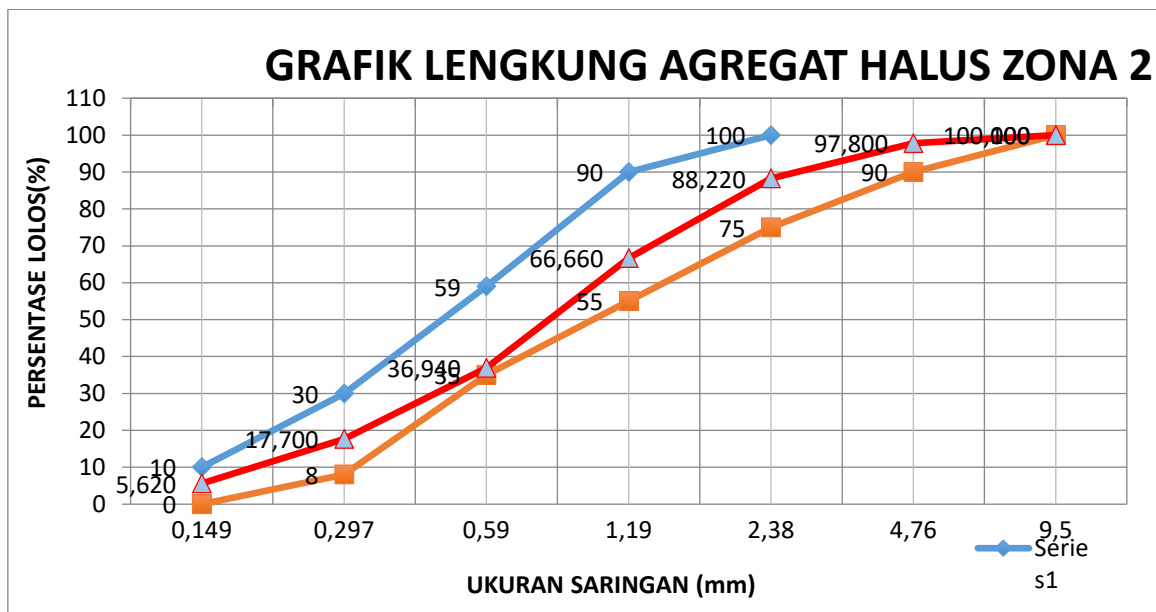
- A.M. Neville (2003). *Properties of Concrete*. Pearson Education Limited, Inggris
- ASTM C 33-97. (1998) *Standart Spesification for Concrete Aggregate*. American : Annual Book.
- ASTM 1997 C 597-83, (1991). *Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete*
- Cheng, C. H. and Johnston, D. H. (1981). *Dynamic and static moduli*. Geophysical Research Lettres, 8 (1), 39-42.
- Dajan A. (1983). Pengantar Metode Statistik Jilid I. LP3S. Jakarta
- Gideon, K. (1993). *Pedoman Pengerjaan Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D dan Robert Resnick, (1996). *Fisika Jilid I*. terjemahan Pantur Silaban. Jakarta: Erlangga
- MacGregor, J.G. (1997). *Reinforced Concrete : Mechanism and Design 3rd Ed*. Prentice-Hall International, Inc
- Mulyono, Tri, Ir., (2004). *Teknologi Beton*, Andi Publishing, Yogyakarta
- Nawy E.G. Juli (2010). *Beton Bertulang*, Cetakan Keempat.
- Standar Nasional Indonesia 03-1729. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Standar Nasional Indonesia 03-2847. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Sutopo; Ibrahim, E.; Kurniati, N. Lasmana, F. (2009) . *Studi modulus elastisitas (modulus young) untuk karakterisasi berbagai jenis batubara berdasarkan analisis kecepatan gelombang*. Jurnal Penelitian Sains, 12 (2B), 12203-1 -12203-5.
- Tjokrodimuljo, Kardiyo, (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Nafiri.
- Uyanik, O. (2000). *Compressional and shear-wave velocity measurements in unconsolidated top-soil and comparison of the results*. The International Journal of The Physical Sciences, 5 (7), 1034-139

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1. Hasil Analisis Agregat Halus

1. Gradasi Agregat Halus

Setelah dilakukan pengujian gradasi agregat halus yang digunakan pada penelitian ini agregat halus termasuk ke dalam zona 2 berdasarkan perhitungan pada Tabel 1. Menurut SNI 03-2834-2002, zona 2 merupakan keadaan pasir yang memiliki gradasi agak kasar. Berikut merupakan Gambar dari zona 2 agregat halus.



Gambar 1 Grafik zona gradasi agregat halus

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 1

Hasil Analisa Gradasi Agregat Halus

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		% Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	-
2.5"	63.5	-	-	-	-
2"	50.8	-	-	-	-
1.5"	38.1	-	-	-	-
1"	25.4	-	-	-	-
3/4"	19.1	-	-	-	-
1/2"	12.7	-	-	-	-
3/8"	9.5	-	-	-	100

no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
4	4.76	22	2.200	2.200	97.800
8	2.38	95.80	9.580	11.780	88.220
16	1.19	215.6	21.560	33.340	66.660
20	0.59	297.2	29.720	63.060	36.940
50	0.297	192.4	19.240	82.300	17.700
100	0.149	120.8	12.080	94.380	5.620
200	0.075	43.2	4.320	98.700	1.300
Pan		13	1.300	-	-
$\Sigma =$		1000	100	385.760	

Sumber : Hasil Penelitian

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Pasir} &= \frac{\sum \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/8" \text{ sampai no } 100}{100} \\
 &= \frac{287,060}{100} \\
 &= 2,8706
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Lumpur Pan} &= \frac{13}{1000} \times 100\% \\
 &= 1.3\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 1, didapatkan modulus kehalusan pasir sebesar 2,8706. Berdasarkan ASTM C.33-97 syarat modulus kehalusan agregat halus adalah 2,3 – 3,1. Dalam hal ini, agregat halus memenuhi syarat ASTM C.33-97, sehingga agregat halus dapat digunakan pada campuran beton.

Selain itu, kandungan lumpur $1,3\% < 5\%$ yang disyaratkan oleh PBI 1971, agregat halus tidak perlu dicuci untuk mengurangi kadar lumpur yang dapat merusak kekuatan beton.

2. Kadar Air Agregat Halus

Kadar Air adalah perbandingan antara berat air dengan berat kering agregat yang dalam presentase. Kadar air agregat akan menentukan mutu beton yang dihasilkan. Selain itu juga berfungsi untuk menentukan kandungan air, pasir dan kerikil untuk pembuatan mix design sehingga diperoleh komposisi ideal. Berdasarkan SK-SNI-15-1990-30 Bab 4 Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton, disebutkan bahwa Kadar air agregat halus harus memenuhi harga $\leq 6.5\%$.

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada tabel 2, didapatkan kadar air rata-rata sebesar 0.47 %. Hal ini menunjukkan bahwa agregat berada dalam kondisi kering. Hal ini bisa dilihat dari presentase kadar air yang mendekati nilai nol

Tabel 2

Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Kode Talam		A	B
1	Berat Talam + Contoh basah (gr)	122.3	113.3
2	Berat Talam + Contoh kering (gr)	121.3	113.2
3	Berat Air = (1)-(2) (gr)	1	0.1
4	Berat Talam (gr)	4	4.1
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4) (gr)	117.3	109.1
6	Kadar Air = (3)/(5) (%)	0.85	0.09
7	Kadar Air rata-rata (%)	0.47	

Sumber : Hasil Penelitian

3. Berat Isi Agregat Halus

Berat isi agregat halus adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. *Standar unit weight* atau berat isi agregat halus diperoleh dengan memasukan agregat halus dalam keadaan SSD ke dalam alat pengukur yang diketahui berat dan volumenya, sehingga berat satuan agregat halus dapat dihitung. Dalam hal ini metode yang dipakai adalah :

a. Metode Rodded

Metode ini dilakukan dengan mengisi alat ukur 1/3 bagian agregat halus lalu ditumbuk dengan tongkat sebanyak 25 kali. Proses ini dilakukan juga pada bagian kedua dan ketiga sampai akhirnya penuh lalu diratakan permukaanya dengan tangan atau mistar.

b. Metode Shoveled

Metode ini dilakukan dengan memasukan dengan memasukan agregat halus ke dalam alat ukur dengan cara biasa hingga penuh dan kemudian diratakan dengan tangan atau mistar.

Berikut dibawah ini merupakan tabel yang diperoleh dari hasil pemeriksaan berat isi agregat halus.

Tabel 3

Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

1	Berat takaran	(gr)	1050	1050
2	Berat takaran + air	(gr)	3050	3050
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2000	2000
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1.905	1.905
CARA			RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4350	4000
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3300	2950
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1732.5	1548.8
9	Berat isi agregat halus rata-rata	(gr/cc)	1640.625	

Sumber : hasil penelitian

Pada penelitian ini, pemeriksaan yang dilakukan pada agregat halus menunjukkan bahwa berat isi yang dihasilkan dari metode Rodded lebih besar dibandingkan dengan metode Shoveled, hal ini disebabkan oleh adanya tusukan-tusukan sehingga tidak ada rongga – rongga yang mengakibatkan isi akan semakin padat dan berat isi semakin besar.

4. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berat jenis pasir adalah perbandingan berat pasir dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan pasir. Dalam merencanakan campuran beton (*Mix Design*), data yang kita perlukan diantaranya berat jenis curah, berat jenis kering permukaan air pada agregat halus.

Penyerapan air pada agregat halus diperoleh dari perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat halus kering yang dinyatakan dalam persen. Penyerapan air ini berfungsi untuk menentukan besarnya kandungan air dan agregat dalam pembuatan Mix Design, sehingga diperoleh campuran beton yang ideal. Menurut SK - SNI – 15-1990-03, pada bab IV pengerjaan perencanaan beton disebutkan bahwa penyerapan air agregat halus untuk pasir $\leq 3,1 \%$

Berikut pada tabel 4 merupakan hasil dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Tabel 4
Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Jenis	Kode	Satuan	Nilai
Berat benda uji kering permukaan jenuh	-	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	488.9
Berat piknometer + air (pada suhu kamar)	B	(gr)	666.3
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	977.4

Jenis	Rumus	Nilai
Berat Jenis Curah (<i>Bulk Spesific Grafity</i>)	$\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$	2.588
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (<i>Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry</i>)	$\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$	2.647
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Spesific Gravity</i>)	$\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$	2.750
Penyerapan (%) (<i>Absorption</i>)	$\frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\%$	2.270

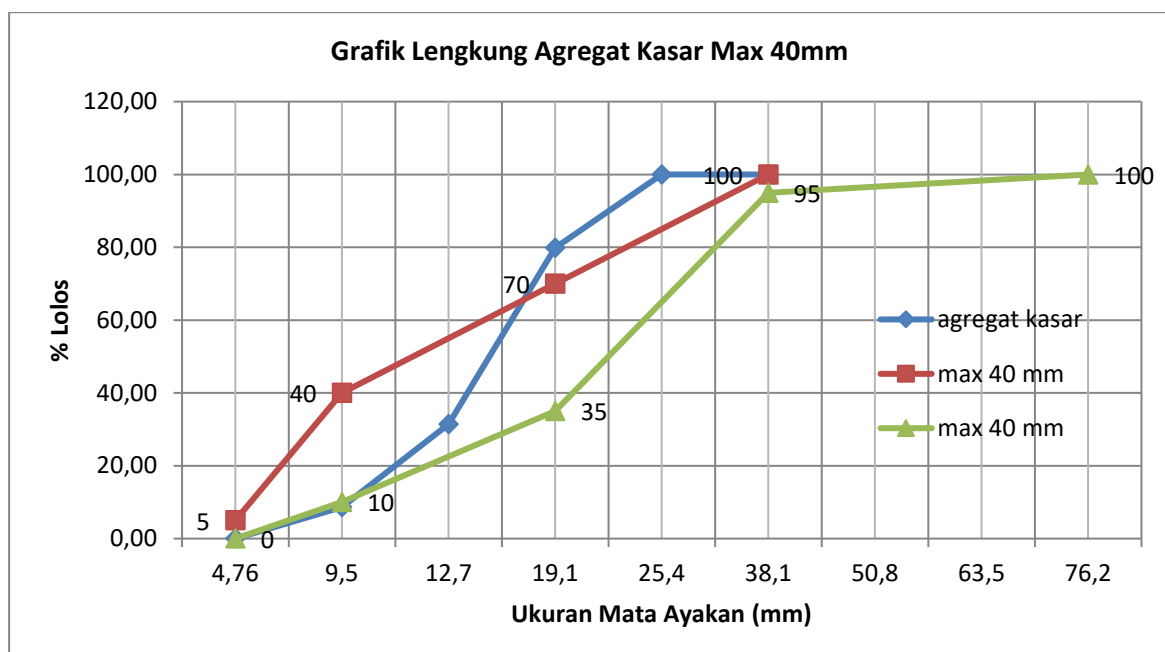
Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan tabel di atas, nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu perbedaannya relatif kecil sehingga dapat dikatakan bahwa sifat penyerapan air agregat halus cukup kecil. Presentase penyerapan agregat halus adalah sebesar 2,270 %. Menurut SK-SNI 15-1990-03 pada bab IV tentang Pengerjaan Perencanaan Beton disebutkan bahwa penyerapan air pada agregat halus untuk pasir yang diperbolehkan adalah sebesar $\leq 3,1$ %. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa agregat halus memenuhi syarat untuk campuran beton.

Lampiran 2. Hasil Analisis Agregat Kasar

1. Gradasi Agregat Kasar

Ukuran agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe 1 – 1 (ukuran maksimum 10 mm) , hal ini bertujuan agar serat kawat yang dicampur ke dalam benda uji dapat bekerja secara efektif dan mudah dalam penyebarannya saat pengecoran. Perhitungan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5. Berdasarkan hasil pemeriksaan, sesuai dengan SNI-03-2834-2000 tentang *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, agregat kasar yang dipakai dalam penelitian ini merupakan agregat yang memiliki ukuran maksimum 40 mm. Di bawah ini merupakan Gambar 2 yang merupakan grafik gradasi agregat kasar ukuran maksimum 40 mm.



Gambar 2 Grafik Gradasi Agregat Kasar

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 5

Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar

Lubang Saringan		Kerikil			
		Tertinggal		% Kumulatif	
no	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	100
2.5"	63.5	-	-	-	100
2"	50.8	-	-	-	100
1.5"	38.1	-	-	-	100
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00

no	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
0.75"	19.1	2020	20.20	20.20	79.80
0.5"	12.7	4840	48.40	68.60	31.40
0.375"	9.5	2280	22.80	91.40	8.60
4	4.76	860	8.60	100.00	-
8	2.38	0	0.00	100.00	-
16	1.19	-	-	100.00	-
20	0.85	-	-	100.00	-
50	0.297	-	-	100.00	-
100	0.149	-	-	100.00	-
200	0.075	-	-	100.00	-
Pan		-	-	100.00	-
$\Sigma =$		10000	100.0	980.20	

Sumber : Hasil Penelitian

Modulus Halus Kerikil

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4 + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100} \\
 &= \frac{911,6}{100} \\
 &= 9,116
 \end{aligned}$$

Dari proses perhitungan di atas didapatkan nilai modulus halus agregat kasar sebesar 9.116 sesuai dengan dengan ASTM C35-37 dinyatakan bahwa nilai modulus halus agregat kasar berkisar antara 7,49 – 9,55, sehingga agregat kasar dapat dikatakan memenuhi standar ASTM C35-37 sebagai bahan penyusun beton.

Pada penelitian ini, presentase lumpur atau agregat yang tertahan di pan adalah sebesar 0 %, sehingga dalam pelaksanaannya agregat kasar tidak perlu dicuci sebelum pengecoran.

2. Kadar Air Agregat Kasar

Berdasarkan SK-SNI-15-1990-30 Bab 4 tentang Pengerjaan Perencanaan Campuran Beton bahwa kadar air agregat kasar harus memenuhi harga $\leq 1.06 \%$. Berdasarkan hasil pemeriksaan pada tabel 6, didapatkan kadar air agregat kasar rata-rata adalah 5,7 %. Dalam hal ini, kandungan air pada agregat kasar melebihi syarat yang ditetapkan, sehingga saat pengecoran harus dipastikan agregat kasar dalam keadaan kering bisa dengan diangin – anginkan di ruangan terbuka maupun dijemur agar kadar air di dalam agregat berkurang.

Tabel 6

Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	96.2	99.2
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	91.3	94
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	4.9	5.2
4	Berat Talam	(gr)	4.1	4.2
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	87.2	89.8
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	5.62	5.8
7	Kadar Air rata-rata	(%)	5.7	

Sumber : Hasil Penelitian

3. Berat Isi Agregat Kasar

Sama halnya dengan agregat halus, pemeriksaan berat isi agregat kasar terdiri dari dua metode yaitu metode Rodded dan metode Sholveled. Berikut pada table 7 dijelaskan hasil pemeriksaan berat isi agregat kasar.

Tabel 7

Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

1	Berat takaran	(gr)	1050	1050
2	Berat takaran + air	(gr)	3050	3050
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2000	2000
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	1.905	1.905
CARA			RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1050	1050
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4200	3900
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3150	2850
8	Berat isi agregat kasar = (7)/(4)	(gr/cc)	1653.750	1496.250
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1575.00	

Sumber : Hasil Penelitian

Pada penelitian ini, pemeriksaan yang dilakukan pada agregat kasar menunjukkan bahwa berat isi yang dihasilkan dari metode Rodded lebih besar dibandingkan dengan metode Shoveled, hal ini disebabkan oleh adanya tusukan-tusukan sehingga tidak ada rongga – rongga yang mengakibatkan isi akan semakin padat dan berat isi semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa metode Rodded lebih efektif dibandingkan metode Shoveled terutama saat pembuatan benda uji ketika dimasukkan ke dalam cetakan silinder.

4. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Dalam merencanakan campuran beton (*Mix Design*), salah satu data yang kita perlukan diantaranya berat jenis curah, berat jenis kering permukaan air pada agregat halus. Menurut SK – SNI – 15 – 1990 – 03, pada bab IV tentang pengerjaan perencanaan beton disebutkan bahwa penyerapan air agregat kasar untuk kerikil $\leq 1.63 \%$. Berikut pada tabel 8 merupakan hasil dari pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Tabel 8

Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Jenis	Kode	Satuan	Nilai
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4950
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3157

Jenis	Rumus	Nilai
Berat Jenis Curah (<i>Bulk Spesific Grafity</i>)	$\frac{Bk}{(Bj - Ba)}$	2.686
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (<i>Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry</i>)	$\frac{Bj}{(Bj - Ba)}$	2.713
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Spesific Gravity</i>)	$\frac{Bk}{(Bk - Ba)}$	2.761
Penyerapan (%) (<i>Absorption</i>)	$\frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\%$	1.010

Sumber : hasil penelitian

Berdasarkan tabel di atas, nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh dan berat jenis semu perbedaannya relatif kecil sehingga dapat dikatakan bahwa sifat penyerapan air agregat kasar cukup kecil. Presentase penyerapan agregat halus adalah sebesar 1,01 %. Sesuai dengan SK-SNI 15-1990-03, penyerapan air pada agregat kasar untuk kerikilyang diperbolehkan adalah sebesar $\leq 1,63 \%$. Artinya, presentase penyerapan memenuhi syarat yang ditetapkan.

Lampiran 3. Hasil Perencanaan *Mix Design*

1. Perencanaan Mix Design Kuat Tekan Rencana 20 MPa

Tabel 9

Hasil Perencanaan *Mix Design*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari)	20	MPa
2	Deviasi standar	-	MPa
3	Nilai Tambah (Margin)	12	MPa
4	Kuat tekan rata-rata yg ditargetkan	32	MPa
5	Jenis Semen	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	0.54	-
8	Faktor air semen Maksimum	0.60	-
9	Slump	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	40	mm
11	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	379.63	kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	-	kg/m ³
14	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan butir agregat halus	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	39%	-
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2.65	kg/m ³
19	Berat isi beton	2375	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	1790.37	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	698.24	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	1092.13	kg/m ³

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan :

1. Kuat tekan karakteristik beton yang direncanakan adalah sebesar 20 MPa
2. Nilai deviasi standar diabaikan karena data lapangan tidak tersedia sebelumnya atau data kurang dari 15 buah, maka kuat tekan rata – rata yang di targetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari $f_{cr} = f'_{cr} + 12 \text{ Mpa}$

3. Nilai tambah kuat tekan sebesar 12 MPa karena tidak terdapat data lapangan sebelumnya.
4. Kuat tekan yang ditargetkan $f_{cr} = f'_{cr} + 12 = 32 \text{ Mpa}$
5. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Cement* Tipe I
6. Jenis agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa pasir
7. Faktor Air Semen ditentukan berdasarkan :
 - a. Jenis agregat kasar yaitu berupa batu pecah
 - b. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I
 - c. Benda uji berupa silinder
 - d. Umur beton yang diuji adalah 28 hari

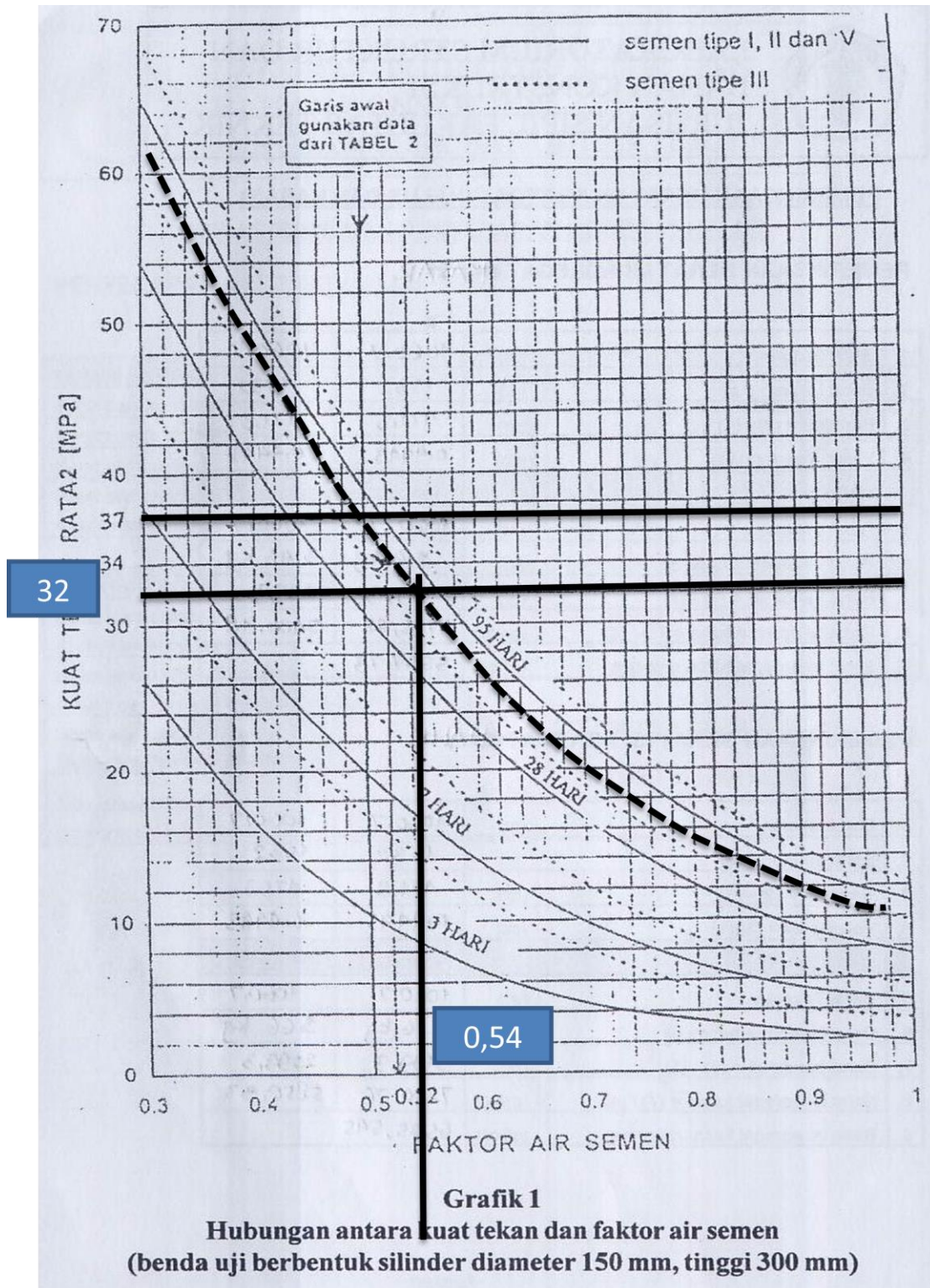
Kemudian dilihat pada tabel perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor Air Semen (FAS) dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia yang terdapat pada Gambar 3. Setelah itu diplotkan pada grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) yang terdapat pada Gambar 3 dan didapatkan nilai 0,54.

Tabel 10

Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan FAS dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)					
		Pada Umur (hari)				Bentuk	
		3	7	28	91	Bentuk Uji	
Semen Portland Tipe I Atau	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder	
	Batu pecah	19	27	37	45		
Semen tahan sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus	
	Batu pecah	23	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.50)



Gambar 3 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.75)

8. Faktor air semen maksimum pada penelitian ini ditetapkan sesuai dengan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 11 yaitu sebesar 0,60.

Tabel 11

Persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	275	-
Beton yang kontinyu berhubungan :		
a. Air Tawar	275	-
b. Air Laut	375	-

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.51)

9. Nilai *slump* diambil berdasarkan nilai-nilai *slump* yang ditetapkan untuk pekerjaan pelat, balok, kolom, dan dinding pada Peraturan Beton Indonenesia (PBI) 1971 yaitu antara 7,5 – 15 cm. Dalam hal ini sesuai dengan tabel yang terdapat pada tabel 12, nilai yang mendekati persyaratan PBI 1971 diambil sebesar 6 – 18 cm (60 – 180 mm)

Tabel 12

Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.54)

10. Ukuran agregat kasar maksimum sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar yaitu maksimum 40 mm.

11. Kadar air bebas ditentukan berdasarkan tabel perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton yang dapat juga dilihat pada tabel 12 yaitu sebesar 205 kg/m^3

$$\begin{aligned}
 12. \text{ Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{faktor air semen maksimum}} \\
 &= \frac{205}{0,6} \\
 &= 341,67 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Jumlah semen maksimum tidak ditentukan

14. Jumlah semen minimum ditetapkan berdasarkan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 11 di atas yaitu sebesar 275 kg/m^3 .

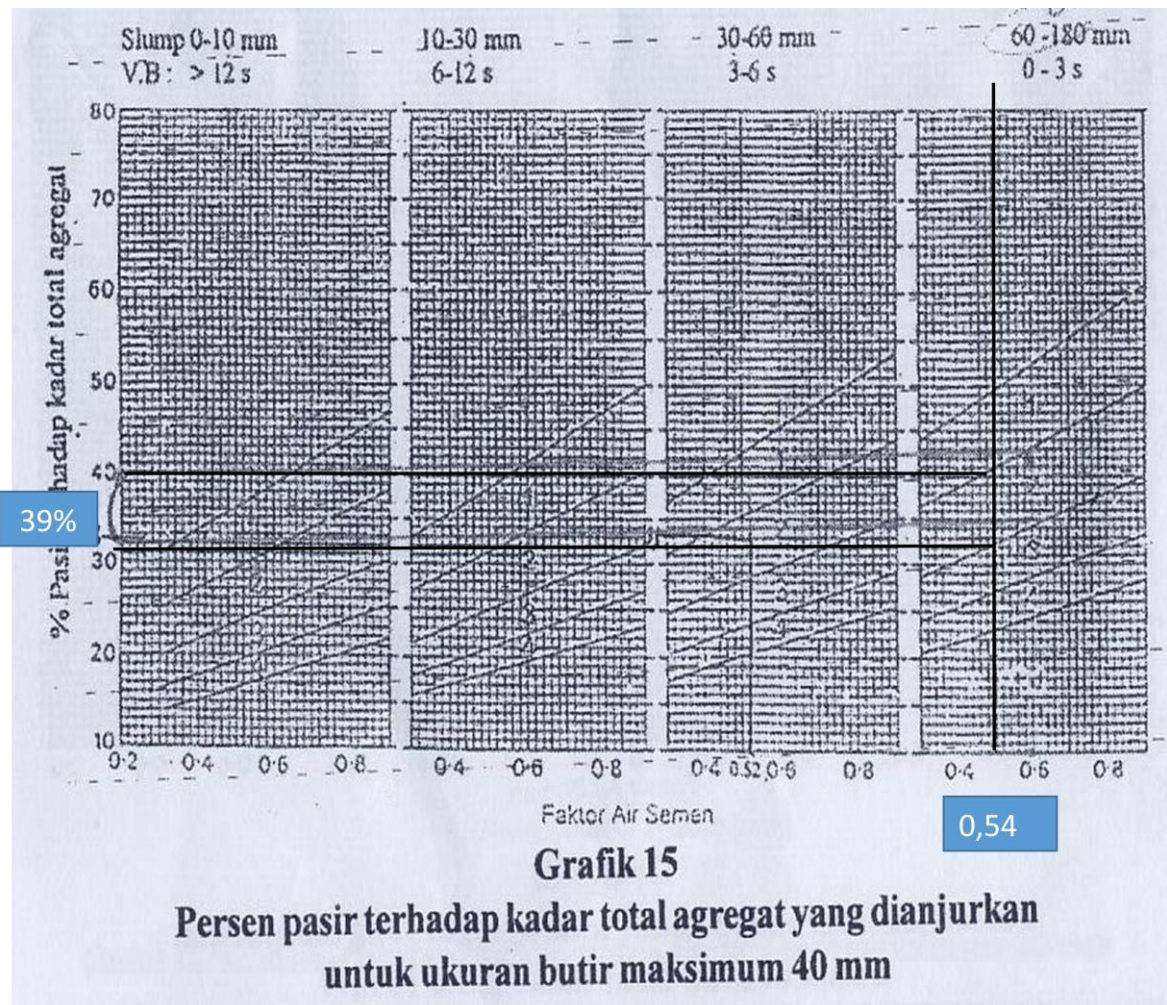
15. Faktor air semen yang disesuaikan dalam penelitian ini diapaikan karena syarat minimum jumlah semen sudah terpenuhi.

16. Agregat halus berada di zona 2 (agak kasar) sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat halus.

17. Presentase agregat halus ditentukan berdasarkan :

- | | |
|---|-------------------------|
| a. Gradasi agregat kasar | = ukuran maksimum 40 mm |
| b. Faktor Air Semen | = 0,54 |
| c. Nilai <i>slump</i> yang direncanakan | = 60 – 180 mm |
| d. Gradasi agregat halus | = zona 2 |

Dari keempat kriteria di atas kemudian di plot pada grafik yang terdapat pada Gambar 4, kemudian diambil nilai tengah diantara dua garis sejajar yang dihasilkan sehingga didapatkan nilai presentase agregat halus sebesar 39%



Gambar 4 Grafik Persen pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

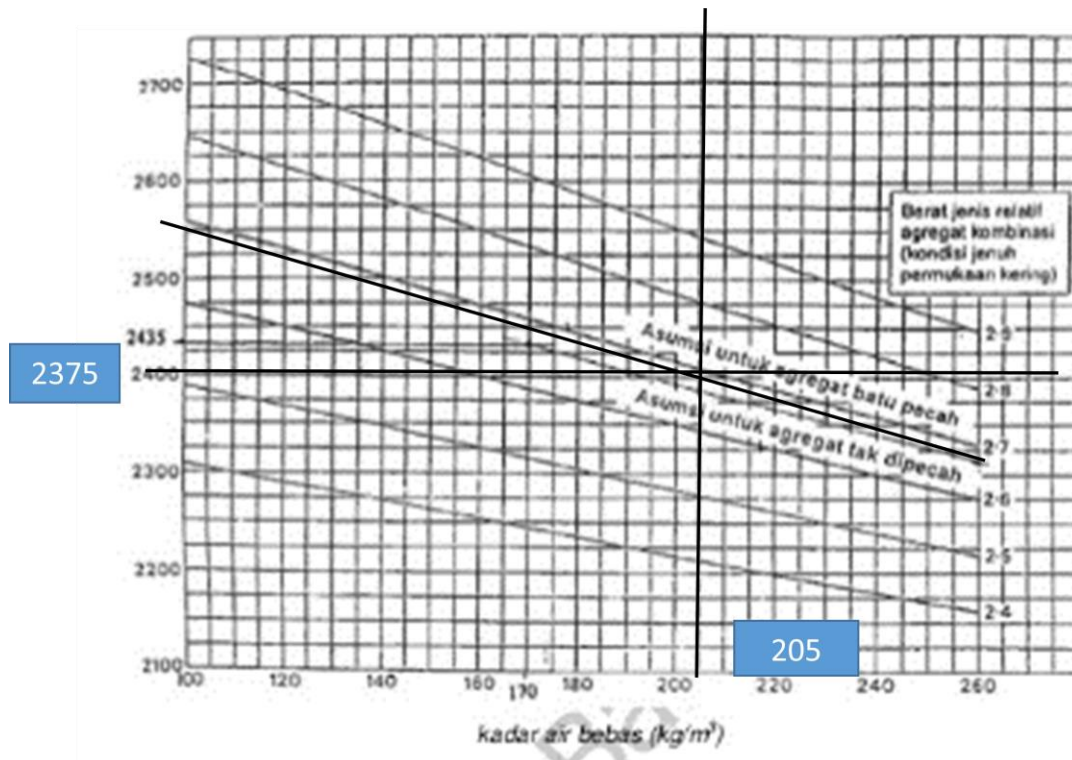
Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

18. Berat jenis relatif agregat (SSD) yang dimaksud disini adalah berat jenis gabungan antara agregat halus dan agregat kasar sebesar $2,65 \text{ kg/m}^3$

19. Berat isi beton berdasarkan :

- Kadar air bebas = 250 kg/m^3
- Berat jenis relatif agregat (SSD) = $2,65 \text{ kg/m}^3$

Dari kedua kriteria diatas kemudian di plot pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 5, sehingga didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2200 kg/m^3



Gambar 5 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

20. Kadar agregat gabungan merupakan selisih dari berat isi beton dikurangi jumlah semen dan kadar air bebas. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{jumlah semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2200 - 471,1 - 250 \\ &= 1478,3 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}21. \text{ Kadar agregat halus} &= \text{persen agregat halus} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= 37\% \times 1478,3 \\ &= 546,97 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}22. \text{ Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1478,3 - 546,97 \\ &= 931,33 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Rasio proporsi teoritis (dalam kg) =

Semen	Air	Pasir	Kerikil
1,00	0,5	1,8	2,9

Perhitungan kebutuhan aktual tiap m^3 :

- Air
$$\begin{aligned}&= B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 250 - (0,47 - 2,27) \times 698,24/100 - (5,7 - 1,01) \times 1092,3/100 \\ &= 166,28 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

- Pasir $= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100}$
 $= 698,24 + (0,47 - 2,27) \times 698,24 / 100$
 $= 685,69 \text{ kg/m}^3$
- Kerikil $= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$
 $= 1092,13 + (5,7 - 1,01) \times 1092,13 / 100$
 $= 1143,4 \text{ kg/m}^3$
- Semen $= 379,63 \text{ kg}$

Keterangan:

B = jumlah air (kg/m^3)

C = jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = jumlah agregat kasar (kg/m^3)

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%)

D_a = absorpsi air pada agregat kasar (%)

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%)

D_k = kandungan air dalam agregat kasar (%)

2. Perencanaan Mix Design Kuat Tekan Rencana 25 MPa

Tabel 13

Hasil Perencanaan *Mix Design*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari)	25	MPa
2	Deviasi standar	-	MPa
3	Nilai Tambah (Margin)	12	MPa
4	Kuat tekan rata-rata yg ditargetkan	37	MPa
5	Jenis Semen	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	0.5	-
8	Faktor air semen Maksimum	0.60	-
9	Slump	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	40	mm
11	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	410	kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	-	kg/m ³
14	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan butir agregat halus	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	36.5%	-
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2.65	kg/m ³
19	Berat isi beton	2375	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	1760	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	642.4	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	1117.6	kg/m ³

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan :

1. Kuat tekan karakteristik beton yang direncanakan adalah sebesar 21,7 MPa
2. Nilai deviasi standar diabaikan karena data lapangan tidak tersedia sebelumnya atau data kurang dari 15 buah, maka kuat tekan rata – rata yang di targetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari $f_{cr} = f'_{cr} + 12$ Mpa

3. Nilai tambah kuat tekan sebesar 12 MPa karena tidak terdapat data lapangan sebelumnya.
4. Kuat tekan yang ditargetkan $f_{cr} = f'_{cr} + 12 = 37 \text{ Mpa}$
5. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Cement* Tipe I
6. Jenis agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa pasir
7. Faktor Air Semen ditentukan berdasarkan :
 - a. Jenis agregat kasar yaitu berupa batu pecah
 - b. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I
 - c. Benda uji berupa silinder
 - d. Umur beton yang diuji adalah 28 hari

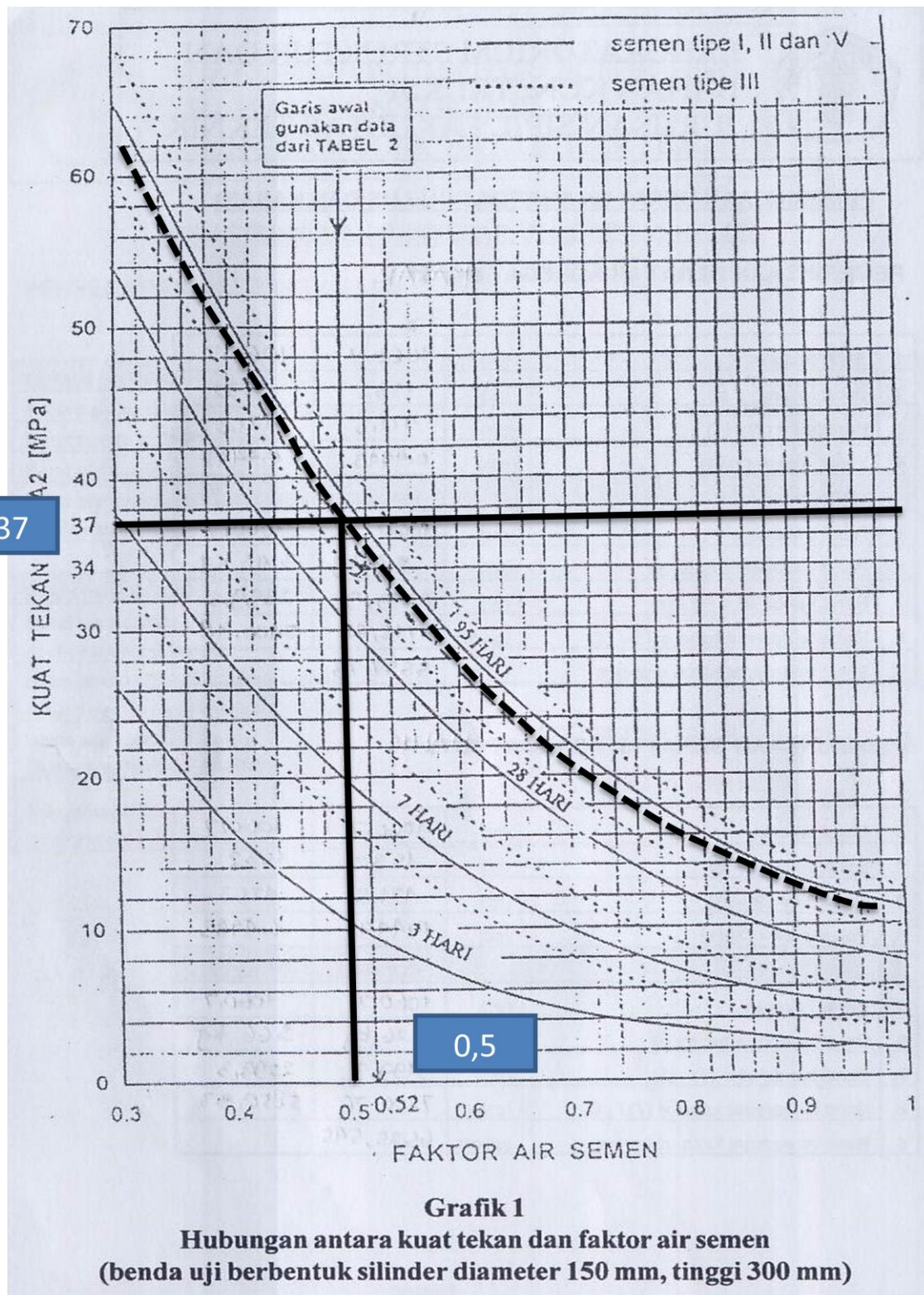
Kemudian dilihat pada tabel perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor Air Semen (FAS) dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia yang terdapat pada Gambar 3. Setelah itu diplotkan pada grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) yang terdapat pada Gambar 6 dan didapatkan nilai 0,53.

Tabel 14

Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan FAS dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)					
		Pada Umur (hari)				Bentuk	
		3	7	28	91	Bentuk Uji	
Semen Portland Tipe I Atau	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder	
	Batu pecah	19	27	37	45		
Semen tahan sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus	
	Batu pecah	23	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber :Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.50)



Gambar 6 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.75)

8. Faktor air semen maksimum pada penelitian ini ditetapkan sesuai dengan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 15 yaitu sebesar 0,60.

Tabel 15

Persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	275	-
Beton yang kontinyu berhubungan :		
a. Air Tawar	275	-
b. Air Laut	375	-

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.51)

9. Nilai *slump* diambil berdasarkan nilai-nilai *slump* yang ditetapkan untuk pekerjaan pelat, balok, kolom, dan dinding pada Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 yaitu antara 7,5 – 15 cm. Dalam hal ini sesuai dengan tabel yang terdapat pada tabel 16, nilai yang mendekati persyaratan PBI 1971 diambil sebesar 6 – 18 cm (60 – 180 mm)

Tabel 16

Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk Beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.54)

10. Ukuran agregat kasar maksimum sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar yaitu maksimum 40 mm.

11. Kadar air bebas ditentukan berdasarkan tabel perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton yang dapat juga dilihat pada tabel 16 yaitu sebesar 250 kg/m^3

$$\begin{aligned}
 12. \text{ Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{faktor air semen maksimum}} \\
 &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Jumlah semen maksimum tidak ditentukan

14. Jumlah semen minimum ditetapkan berdasarkan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 15 di atas yaitu sebesar 275 kg/m^3 .

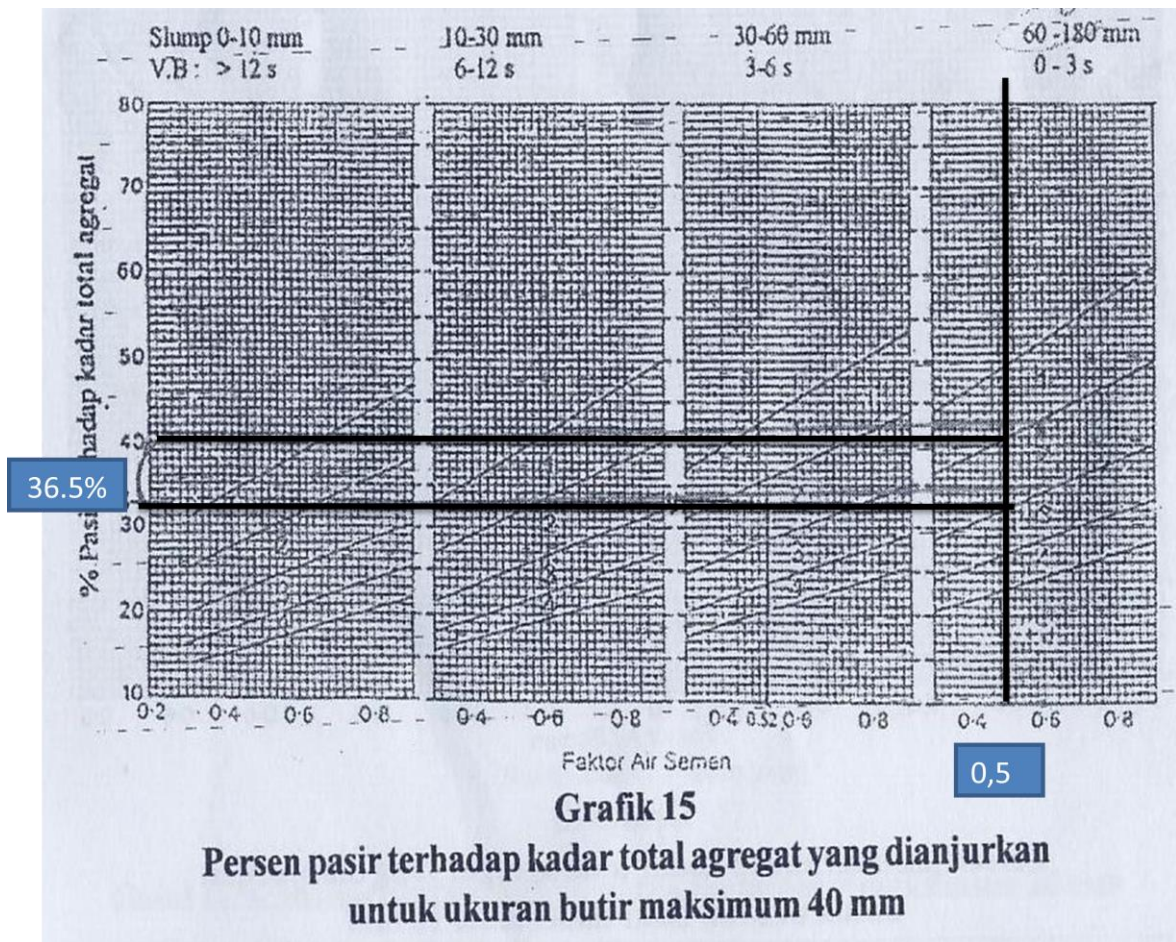
15. Faktor air semen yang disesuaikan dalam penelitian ini diapaikan karena syarat minimum jumlah semen sudah terpenuhi.

16. Agregat halus berada di zona 2 (agak kasar) sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat halus.

17. Presentase agregat halus ditentukan berdasarkan :

- a. Gradasi agregat kasar = ukuran maksimum 40 mm
- b. Faktor Air Semen = 0,5
- c. Nilai *slump* yang direncanakan = 60 – 180 mm
- d. Gradasi agregat halus = zona 2

Dari keempat kriteria di atas kemudian di plot pada grafik yang terdapat pada Gambar 7, kemudian diambil nilai tengah diantara dua garis sejajar yang dihasilkan sehingga didapatkan nilai presentase agregat halus sebesar 36.5%



Gambar 7 Grafik Persen pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

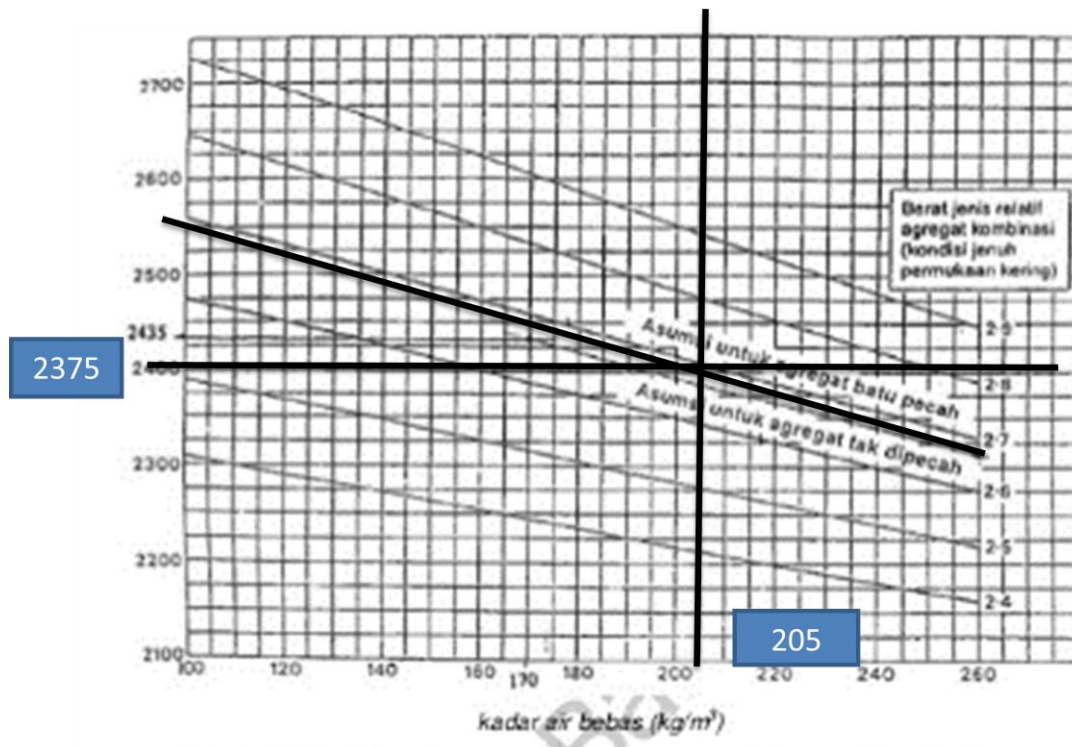
Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

18. Berat jenis relatif agregat (SSD) yang dimaksud disini adalah berat jenis gabungan antara agregat halus dan agregat kasar sebesar $2,65 \text{ kg/m}^3$

19. Berat isi beton ditentukan berdasarkan :

- Kadar air bebas = 250 kg/m^3
- Berat jenis relatif agregat (SSD) = $2,45 \text{ kg/m}^3$

Dari kedua kriteria diatas kemudian di plot pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 8, sehingga didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2200 kg/m^3



Gambar 8 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

20. Kadar agregat gabungan merupakan selisih dari berat isi beton dikurangi jumlah semen dan kadar air bebas. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{jumlah semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2375 - 410 - 205 \\ &= 1760 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}21. \text{ Kadar agregat halus} &= \text{persen agregat halus} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= 36,5\% \times 1760 \\ &= 642,4 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}22. \text{ Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1760 - 642,4 \\ &= 1117,6 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Rasio proporsi teoritis (dalam kg) =

Semen	Air	Pasir	Kerikil
1,00	0,5	1,6	2,7

Perhitungan kebutuhan aktual tiap m³:

$$\begin{aligned}\text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{c}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 250 - (0,47 - 2,27) \times 642,24/100 - (5,7 - 1,01) \times 1117,6/100 \\ &= 164,08 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

- Pasir

$$= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100}$$

$$= 642,24 + (0,47 - 2,27) \times 642,24/100$$

$$= 630,85 \text{ kg/m}^3$$
- Kerikil

$$= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$$

$$= 1117,6 + (5,7 - 1,01) \times 1117,6/100$$

$$= 1170,07 \text{ kg/m}^3$$
- Semen

$$= 410 \text{ kg}$$

Keterangan:

B = jumlah air (kg/m^3)

C = jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = jumlah agregat kasar (kg/m^3)

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%)

D_a = absorpsi air pada agregat kasar (%)

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%)

D_k = kandungan air dalam agregat kasar (%)

3. Perencanaan Mix Design Kuat Tekan Rencana 30 MPa

Tabel 17

Hasil Perencanaan *Mix Design*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari)	30	MPa
2	Deviasi standar	-	MPa
3	Nilai Tambah (Margin)	12	MPa
4	Kuat tekan rata-rata yg ditargetkan	42	MPa
5	Jenis Semen	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	0.46	-
8	Faktor air semen Maksimum	0.60	-
9	Slump	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	40	mm
11	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	445,65	kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	-	kg/m ³
14	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan butir agregat halus	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	35.5%	-
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2.65	kg/m ³
19	Berat isi beton	2375	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	1724,35	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	612.14	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	1112.2	kg/m ³

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan :

1. Kuat tekan karakteristik beton yang direncanakan adalah sebesar 30 MPa
2. Nilai deviasi standar diabaikan karena data lapangan tidak tersedia sebelumnya atau data kurang dari 15 buah, maka kuat tekan rata – rata yang di targetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari $f_{cr} = f'_{cr} + 12 \text{ Mpa}$

3. Nilai tambah kuat tekan sebesar 12 MPa karena tidak terdapat data lapangan sebelumnya.
4. Kuat tekan yang ditargetkan $f_{cr} = f'_{cr} + 12 = 42 \text{ Mpa}$
5. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Cement* Tipe I
6. Jenis agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa pasir
7. Faktor Air Semen ditentukan berdasarkan :
 - a. Jenis agregat kasar yaitu berupa batu pecah
 - b. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I
 - c. Benda uji berupa silinder
 - d. Umur beton yang diuji adalah 28 hari

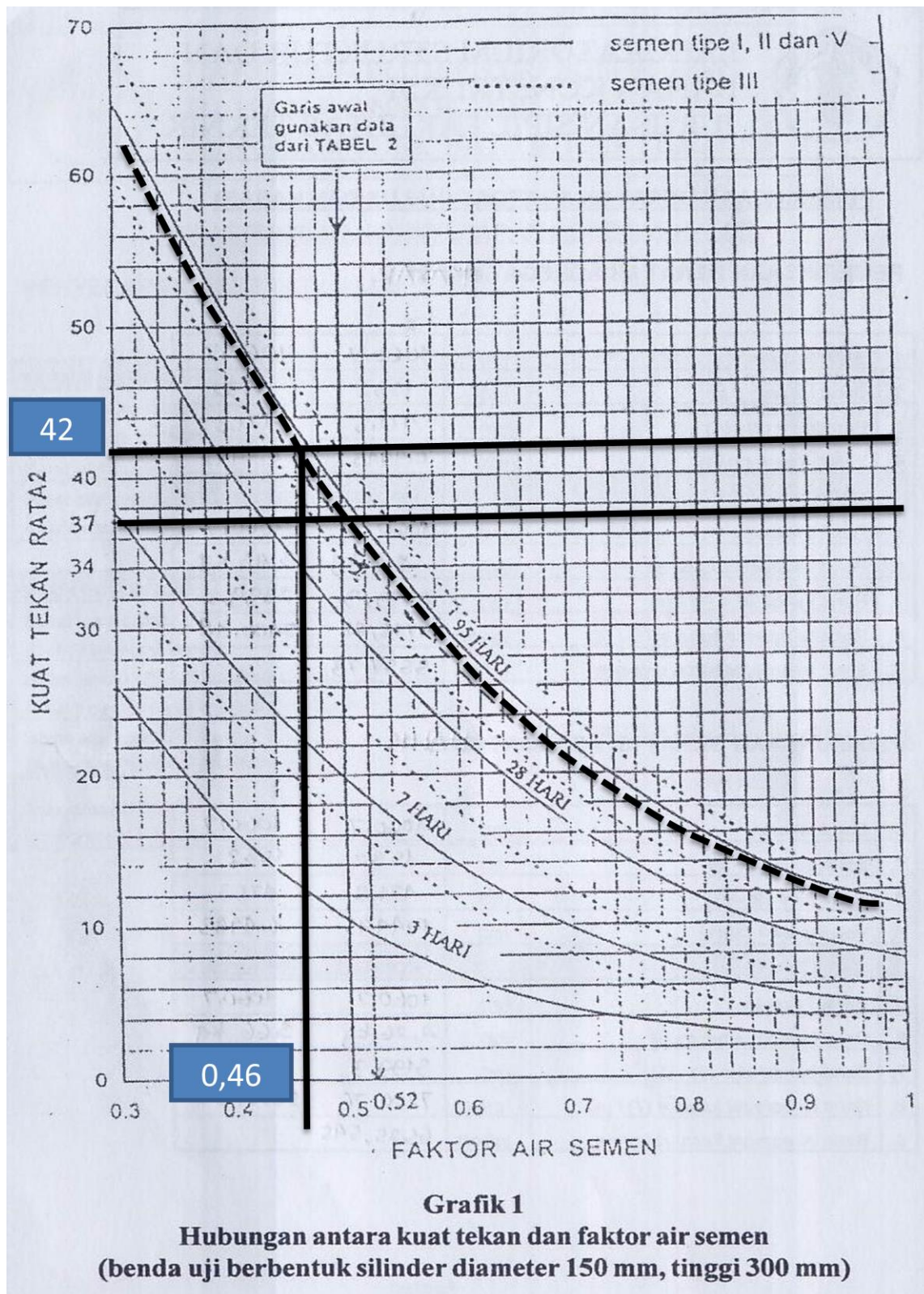
Kemudian dilihat pada tabel perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor Air Semen (FAS) dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia yang terdapat pada Gambar 9. Setelah itu diplotkan pada grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) yang terdapat pada Gambar 9 dan didapatkan nilai 0,46.

Tabel 18

Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan FAS dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)					
		Pada Umur (hari)				Bentuk	
		3	7	28	91	Bentuk Uji	
Semen Portland Tipe I Atau	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder	
	Batu pecah	19	27	37	45		
Semen tahan sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus	
	Batu pecah	23	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber :Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.50)



Gambar 9 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.75)

8. Faktor air semen maksimum pada penelitian ini ditetapkan sesuai dengan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 19 yaitu sebesar 0,60.

Tabel 19

Persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	275	-
Beton yang kontinyu berhubungan :		
a. Air Tawar	275	-
b. Air Laut	375	-

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.51)

9. Nilai *slump* diambil berdasarkan nilai-nilai *slump* yang ditetapkan untuk pekerjaan pelat, balok, kolom, dan dinding pada Peraturan Beton Indonenesia (PBI) 1971 yaitu antara 7,5 – 15 cm. Dalam hal ini sesuai dengan tabel yang terdapat pada tabel 20, nilai yang mendekati persyaratan PBI 1971 diambil sebesar 6 – 18 cm (60 – 180 mm)

Tabel 20

Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk Beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.54)

10. Ukuran agregat kasar maksimum sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar yaitu maksimum 40 mm.
11. Kadar air bebas ditentukan berdasarkan tabel perkiraan kadar air bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton yang dapat juga dilihat pada tabel 13 yaitu sebesar 205 kg/m³

$$\begin{aligned}
 12. \text{ Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{faktor air semen maksimum}} \\
 &= \frac{205}{0,46} \\
 &= 445,65 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Jumlah semen maksimum tidak ditentukan

14. Jumlah semen minimum ditetapkan berdasarkan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 19 di atas yaitu sebesar 275 kg/m^3 .

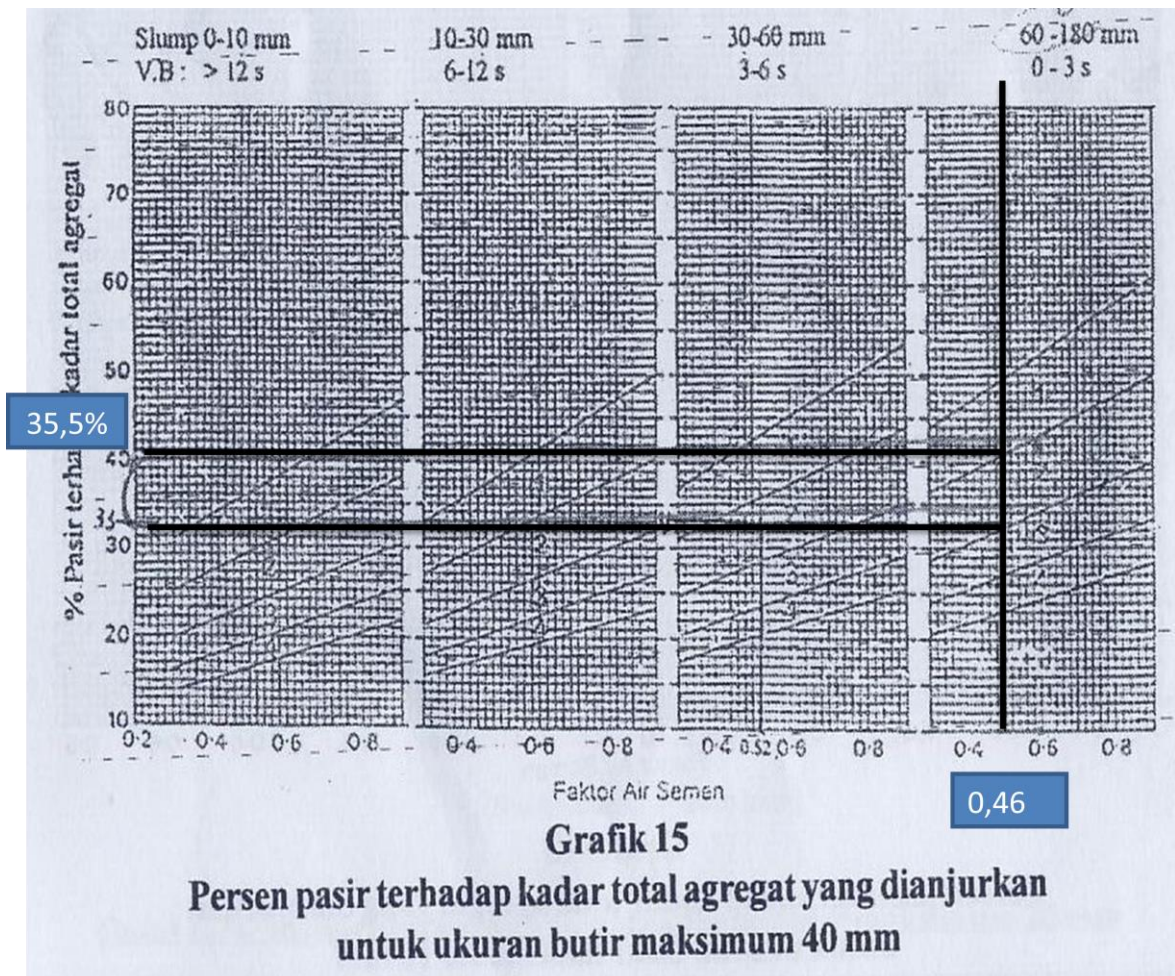
15. Faktor air semen yang disesuaikan dalam penelitian ini diapaikan karena syarat minimum jumlah semen sudah terpenuhi.

16. Agregat halus berada di zona 2 (agak kasar) sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat halus.

17. Presentase agregat halus ditentukan berdasarkan :

- e. Gradasi agregat kasar = ukuran maksimum 40 mm
- f. Faktor Air Semen = 0,46
- g. Nilai *slump* yang direncanakan = 60 – 180 mm
- h. Gradasi agregat halus = zona 2

Dari keempat kriteria di atas kemudian di plot pada grafik yang terdapat pada Gambar 10, kemudian diambil nilai tengah diantara dua garis sejajar yang dihasilkan sehingga didapatkan nilai presentase agregat halus sebesar 35.5%



Gambar 10 Grafik Persen pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

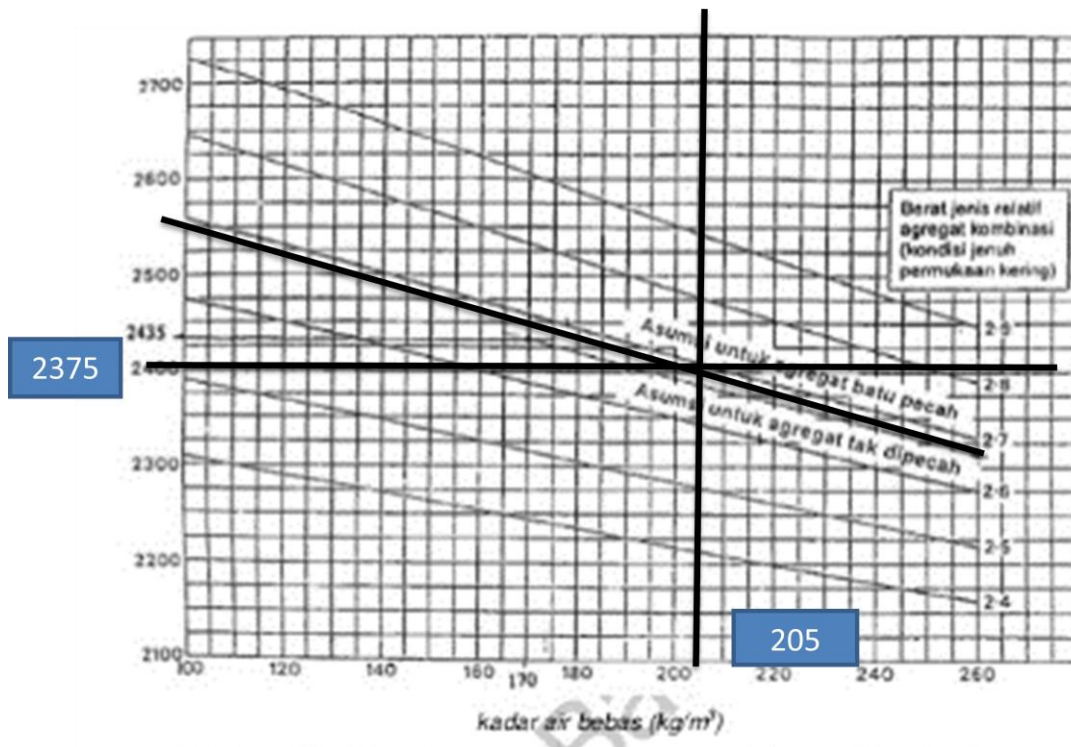
Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

18. Berat jenis relatif agregat (SSD) yang dimaksud disini adalah berat jenis gabungan antara agregat halus dan agregat kasar sebesar $2,65 \text{ kg/m}^3$

19. Berat isi beton ditentukan berdasarkan :

- c. Kadar air bebas = 205 kg/m^3
- d. Berat jenis relatif agregat (SSD) = $2,65 \text{ kg/m}^3$

Dari kedua kriteria diatas kemudian di plot pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 11, sehingga didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2375 kg/m^3



Gambar 11 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

20. Kadar agregat gabungan merupakan selisih dari berat isi beton dikurangi jumlah semen dan kadar air bebas. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{jumlah semen} - \text{kadar air bebas} \\
 &= 2375 - 445,65 - 205 \\
 &= 1721,935 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 21. \text{ Kadar agregat halus} &= \text{persen agregat halus} \times \text{kadar agregat gabungan} \\
 &= 35,5\% \times 1724,35 \\
 &= 612,14 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 22. \text{ Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\
 &= 1724,35 - 612,14 \\
 &= 1112,2 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Rasio proporsi teoritis (dalam kg) =

Semen	Air	Pasir	Kerikil
1,00	0,5	1,4	2,5

Perhitungan kebutuhan aktual tiap m³:

$$\begin{aligned}
 \text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{c}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\
 &= 250 - (0,47 - 2,27) \times 612,14/100 - (5,7 - 1,01) \times 1112,2100 \\
 &= 163,79 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- Pasir

$$= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100}$$

$$= 612,14 + (0,47 - 2,27) \times 612,14/100$$

$$= 601,14 \text{ kg/m}^3$$
- Kerikil

$$= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$$

$$= 1112,2 + (5,7 - 1,01) \times 1112,2/100$$

$$= 1164,42 \text{ kg/m}^3$$
- Semen

$$= 445,65 \text{ kg}$$

Keterangan:

B = jumlah air (kg/m^3)

C = jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = jumlah agregat kasar (kg/m^3)

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%)

D_a = absorpsi air pada agregat kasar (%)

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%)

D_k = kandungan air dalam agregat kasar (%)

4. Perencanaan Mix Design Kuat Tekan Rencana 35 MPa

Tabel 21

Hasil Perencanaan *Mix Design*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 hari)	35	MPa
2	Deviasi standar	-	MPa
3	Nilai Tambah (Margin)	12	MPa
4	Kuat tekan rata-rata yg ditargetkan	47	MPa
5	Jenis Semen	Normal (Tipe I)	-
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	-
	Jenis Agregat Halus	Pasir	-
7	Faktor Air semen Bebas	0.42	-
8	Faktor air semen Maksimum	0.60	-
9	Slump	60 - 180	mm
10	Ukuran Agregat Kasar Maksimum	40	mm
11	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³
12	Jumlah semen	488.1	kg/m ³
13	Jumlah Semen Maksimum	-	kg/m ³
14	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³
15	FAS yg disesuaikan	-	-
16	Susunan butir agregat halus	Zona 2	-
17	Persen agregat halus	34.5%	-
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2.65	kg/m ³
19	Berat isi beton	2375	kg/m ³
20	Kadar agregat gabungan	1681,9	kg/m ³
21	Kadar agregat halus	580,26	kg/m ³
22	Kadar agregat kasar	1101.65	kg/m ³

Sumber : Hasil Penelitian

Keterangan :

1. Kuat tekan karakteristik beton yang direncanakan adalah sebesar 35 MPa
2. Nilai deviasi standar diabaikan karena data lapangan tidak tersedia sebelumnya atau data kurang dari 15 buah, maka kuat tekan rata – rata yang di targetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari $f_{cr} = f'_{cr} + 12 \text{ Mpa}$

3. Nilai tambah kuat tekan sebesar 12 MPa karena tidak terdapat data lapangan sebelumnya.
4. Kuat tekan yang ditargetkan $f_{cr} = f'_{cr} + 12 = 47 \text{ Mpa}$
5. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Cement* Tipe I
6. Jenis agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa pasir
7. Faktor Air Semen ditentukan berdasarkan :
 - a. Jenis agregat kasar yaitu berupa batu pecah
 - b. Semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I
 - c. Benda uji berupa silinder
 - d. Umur beton yang diuji adalah 28 hari

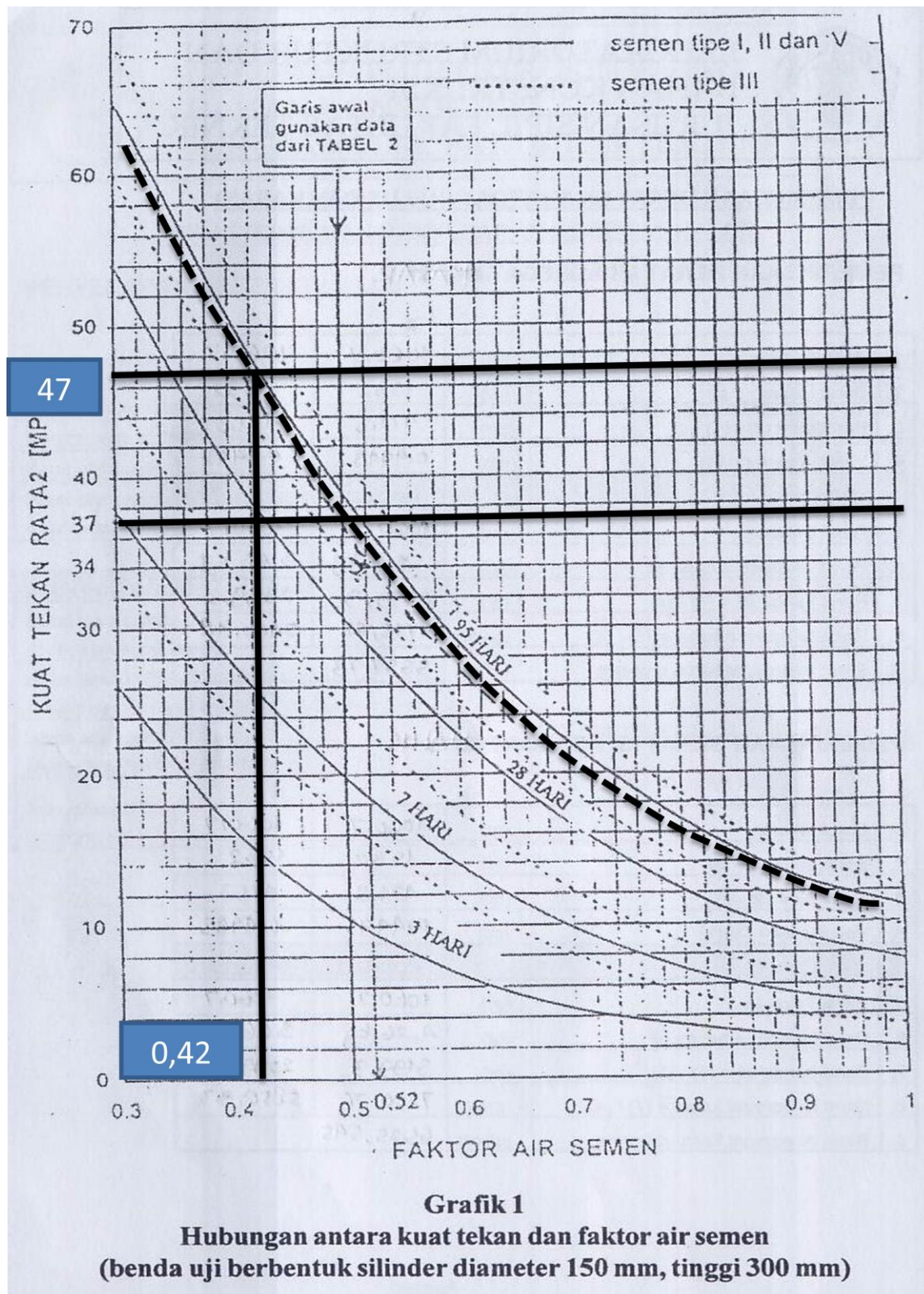
Kemudian dilihat pada tabel perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan Faktor Air Semen (FAS) dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia yang terdapat pada Gambar 12. Setelah itu diplotkan pada grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) yang terdapat pada Gambar 12 dan didapatkan nilai 0,42

Tabel 22

Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) beton dengan FAS dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)					
		Pada Umur (hari)				Bentuk	
		3	7	28	91	Bentuk Uji	
Semen Portland Tipe I Atau	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder	
	Batu pecah	19	27	37	45		
Semen tahan sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus	
	Batu pecah	23	32	45	54		
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber :Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.50)



Gambar 12 Grafik Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.75)

8. Faktor air semen maksimum pada penelitian ini ditetapkan sesuai dengan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 23 yaitu sebesar 0,60.

Tabel 23

Persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai faktor air semen maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	275	-
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air Tawar	275	-
b. Air Laut	375	-

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.51)

9. Nilai *slump* diambil berdasarkan nilai-nilai *slump* yang ditetapkan untuk pekerjaan pelat, balok, kolom, dan dinding pada Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 yaitu antara 7,5 – 15 cm. Dalam hal ini sesuai dengan tabel yang terdapat pada tabel 24, nilai yang mendekati persyaratan PBI 1971 diambil sebesar 6 – 18 cm (60 – 180 mm)

Tabel 24

Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk Beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.54)

10. Ukuran agregat kasar maksimum sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar yaitu maksimum 40 mm.

11. Kadar air bebas ditentukan berdasarkan tabel perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton yang dapat juga dilihat pada tabel 24 yaitu sebesar 250 kg/m^3

$$\begin{aligned}
 12. \text{ Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{faktor air semen maksimum}} \\
 &= \frac{205}{0,42} \\
 &= 488,1 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Jumlah semen maksimum tidak ditentukan

14. Jumlah semen minimum ditetapkan berdasarkan tabel persyaratan jumlah semen dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus yang terdapat pada tabel 23 di atas yaitu sebesar 275 kg/m^3 .

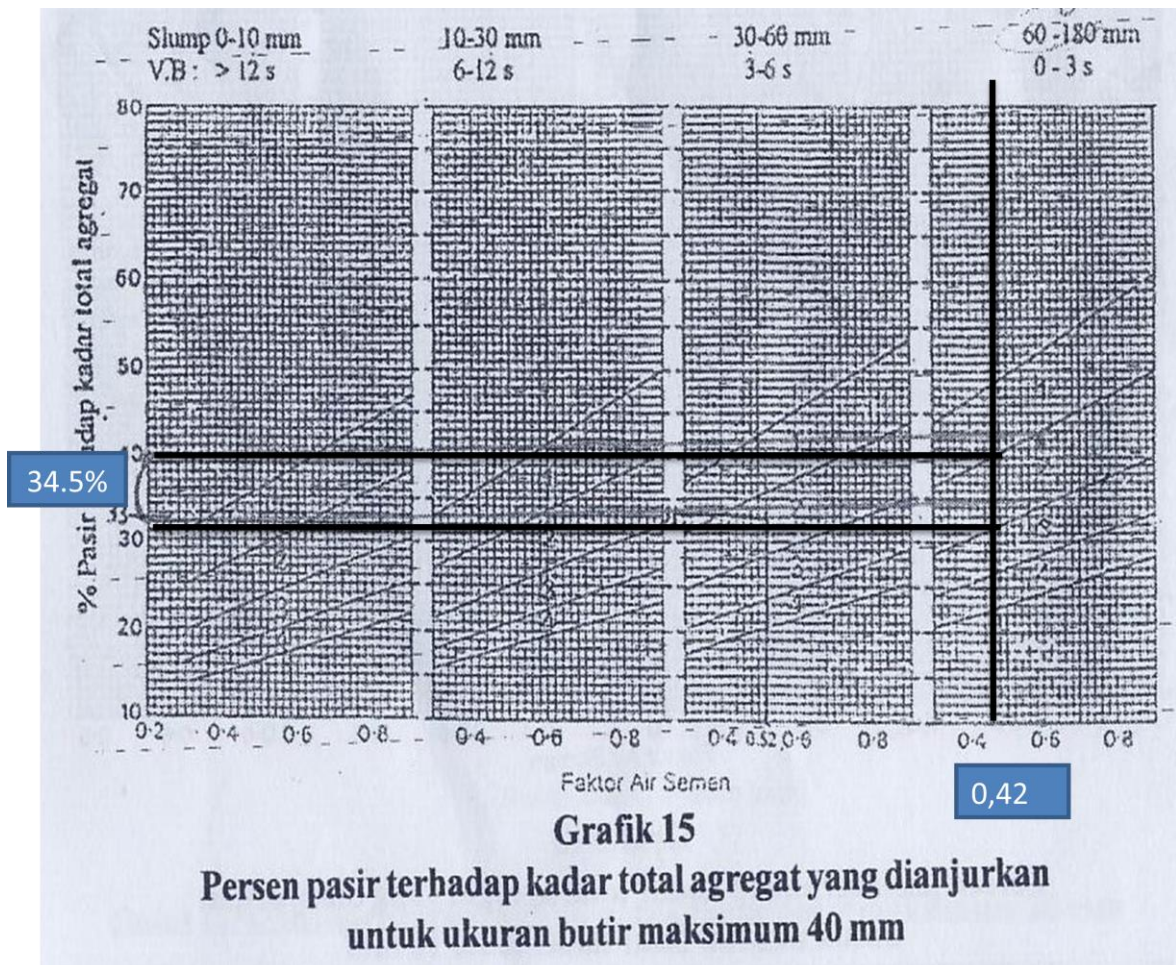
15. Faktor air semen yang disesuaikan dalam penelitian ini diapaikan karena syarat minimum jumlah semen sudah terpenuhi.

16. Agregat halus berada di zona 2 (agak kasar) sesuai dengan hasil pemeriksaan gradasi agregat halus.

17. Presentase agregat halus ditentukan berdasarkan :

- i. Gradasi agregat kasar = ukuran maksimum 40 mm
- j. Faktor Air Semen = 0,42
- k. Nilai *slump* yang direncanakan = 60 – 180 mm
- l. Gradasi agregat halus = zona 2

Dari keempat kriteria di atas kemudian di plot pada grafik yang terdapat pada Gambar 13, kemudian diambil nilai tengah diantara dua garis sejajar yang dihasilkan sehingga didapatkan nilai presentase agregat halus sebesar 34.5%



Gambar 13 Grafik Persen pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

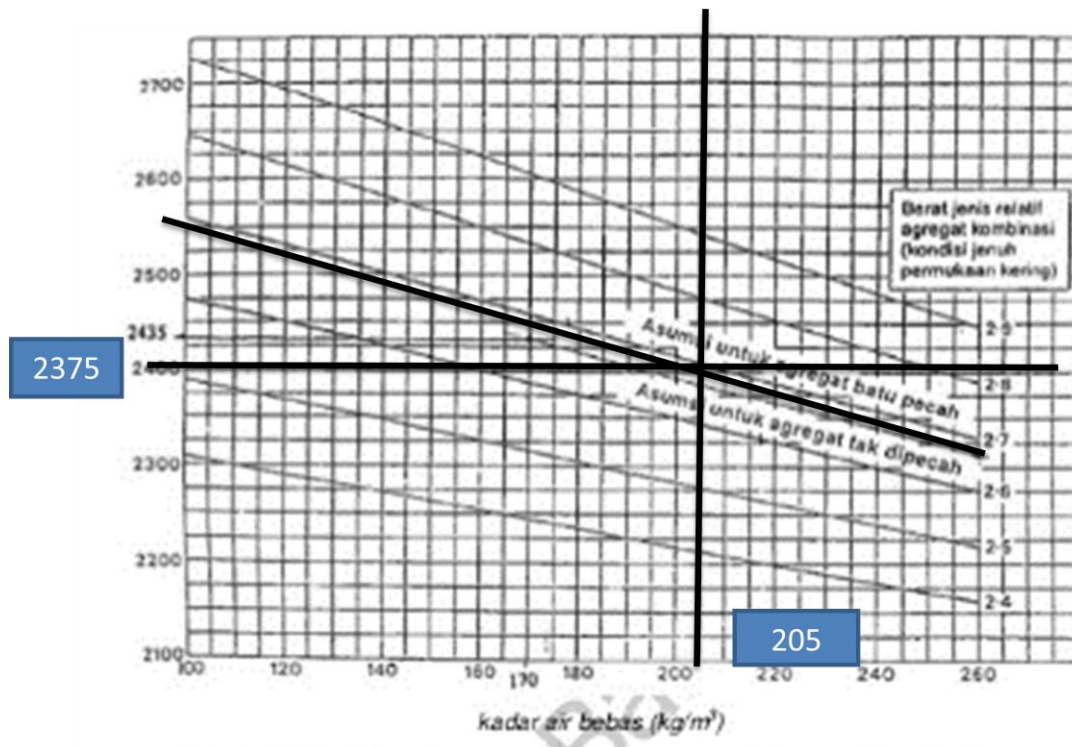
Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

18. Berat jenis relatif agregat (SSD) yang dimaksud disini adalah berat jenis gabungan antara agregat halus dan agregat kasar sebesar $2,65 \text{ kg/m}^3$

19. Berat isi beton ditentukan berdasarkan :

- Kadar air bebas = 250 kg/m^3
- Berat jenis relatif agregat (SSD) = $2,45 \text{ kg/m}^3$

Dari kedua kriteria diatas kemudian di plot pada grafik yang ditampilkan pada Gambar 14, sehingga didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2200 kg/m^3



Gambar 14 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

Sumber : Petunjuk Praktikum Teknologi Beton (p.84)

- c. Kadar agregat gabungan merupakan selisih dari berat isi beton dikurangi jumlah semen dan kadar air bebas. Berikut perhitungannya :

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat gabungan} &= \text{Berat isi beton} - \text{jumlah semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2375 - 488,1 - 205 \\ &= 1681,9 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

- d. Kadar agregat halus = persen agregat halus x kadar agregat gabungan
 $= 34,5\% \times 1681,9$
 $= 580,26 \text{ kg/m}^3$

- e. Kadar agregat kasar = kadar agregat gabungan – kadar agregat halus
 $= 1681,9 - 580,26$
 $= 1101,65 \text{ kg/m}^3$

Rasio proporsi teoritis (dalam kg) =

Semen	Air	Pasir	Kerikil
1,00	0,4	1,2	2,3

Perhitungan kebutuhan aktual tiap m^3 :

$$\begin{aligned}\text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 250 - (0,47 - 2,27) \times 580,26/100 - (5,7 - 1,01) \times 1101,65/100 \\ &= 163,71 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

- Pasir

$$= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100}$$

$$= 580,26 + (0,47 - 2,27) \times 580,26/100$$

$$= 569,82 \text{ kg/m}^3$$
- Kerikil

$$= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$$

$$= 1101,65 + (5,7 - 1,01) \times 1101,65/100$$

$$= 1153,37 \text{ kg/m}^3$$
- Semen

$$= 488,1 \text{ kg}$$

Keterangan:

B = jumlah air (kg/m^3)

C = jumlah agregat halus (kg/m^3)

D = jumlah agregat kasar (kg/m^3)

C_a = absorpsi air pada agregat halus (%)

D_a = absorpsi air pada agregat kasar (%)

C_k = kandungan air dalam agregat halus (%)

D_k = kandungan air dalam agregat kasar (%)

Lampiran 4. Berat Isi Beton

Tabel 25

Hasil Pemeriksaan Berat Isi Beton

Kode Benda Uji Beton Silinde	Berat Beton (kg)	Berat Isi Beton (kg/m ³)	Berat Isi Beton Rata-rata (kg/m ³)
A	1	13	2453.41
	2	12.8	2415.66
	3	13.15	2481.72
	4	12.8	2415.66
	5	12.9	2434.54
	6	13	2453.41
	7	12.9	2434.54
	8	12.85	2425.10
	9	12.55	2368.48
B	1	13	2453.41
	2	13	2453.41
	3	13.15	2481.72
	4	13.05	2462.85
	5	13	2453.41
	6	13.05	2462.85
	7	12.95	2443.97
	8	12.9	2434.54
	9	12.95	2443.97
C	2	13.3	2510.03
	3	13.25	2500.59
	4	13.2	2491.15
	5	13.25	2500.59
	6	13.35	2519.46
	7	13.35	2519.46
	8	13.1	2472.28
	9	13.1	2472.28
	2	13.2	2491.15
D	3	13.05	2462.85
	4	13.15	2481.72
	6	13.05	2462.85
	7	13.1	2472.28
	8	13.15	2481.72

Sumber : Hasil Penelitian

Lampiran 5. Hasil Uji Modulus Elastisitas Menggunakan Alat *Compression Strength Machine (Extensometer)*

1. Benda Uji A.1

Pada pengujian modulus elastisitas menggunakan alat *compression strength machine* setiap benda uji yang menghasilkan nilai pertambahan panjang (ΔL) yang sama untuk setiap kenaikan beban tertentu, maka nilai tegangannya di rata – rata. Misalnya pada tabel 1 untuk beban 20 kN dan 30 kN, benda uji mengalami pertambahan panjang yang sama yaitu 0,01 mm sehingga untuk meng-plot pada grafik hubungan tegangan dan regangan nilai tegangan harus di rata – rata :

$$\Sigma \text{Tegangan} = \frac{1.13 + 1.70}{2} = 1.41 \text{ MPa}$$

Kemudian untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 2. Begitu pula seterusnya jika menemukan nilai pertambahan panjang yang sama, maka nilai tegangan harus di rata – rata.

Contoh Perhitungan :

- *Luas Silinder (A)* $= \pi \times r^2$
 $= \pi \times (0,075)^2$
 $= 0,01768 \text{ m}^2$
- Berat $= 13 \text{ kg}$
- L $= 30 \text{ cm} = 300 \text{ mm}$
- *Volume (V)* $= \pi \times r^2 \times t$
 $= \pi \times (0,075)^2 \times 0,3$
 $= 0,0053 \text{ m}^3$
- Berat isi $= \frac{13}{0,0053}$
 $= 2453,41 \text{ kg/m}^3$
- Tegangan (σ) saat beban 10 kN
 $\sigma = \frac{P}{A} = \frac{10 \text{ kN}}{0,01768 \text{ m}^2} = 0,57 \text{ MPa}$
- Regangan (ϵ) saat beban 10 kN
 $\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0 \text{ mm}}{300 \text{ mm}} = 0 \text{ mm}$

Tabel 26
 Hasil pembacaan *extensometer* benda uji A.1

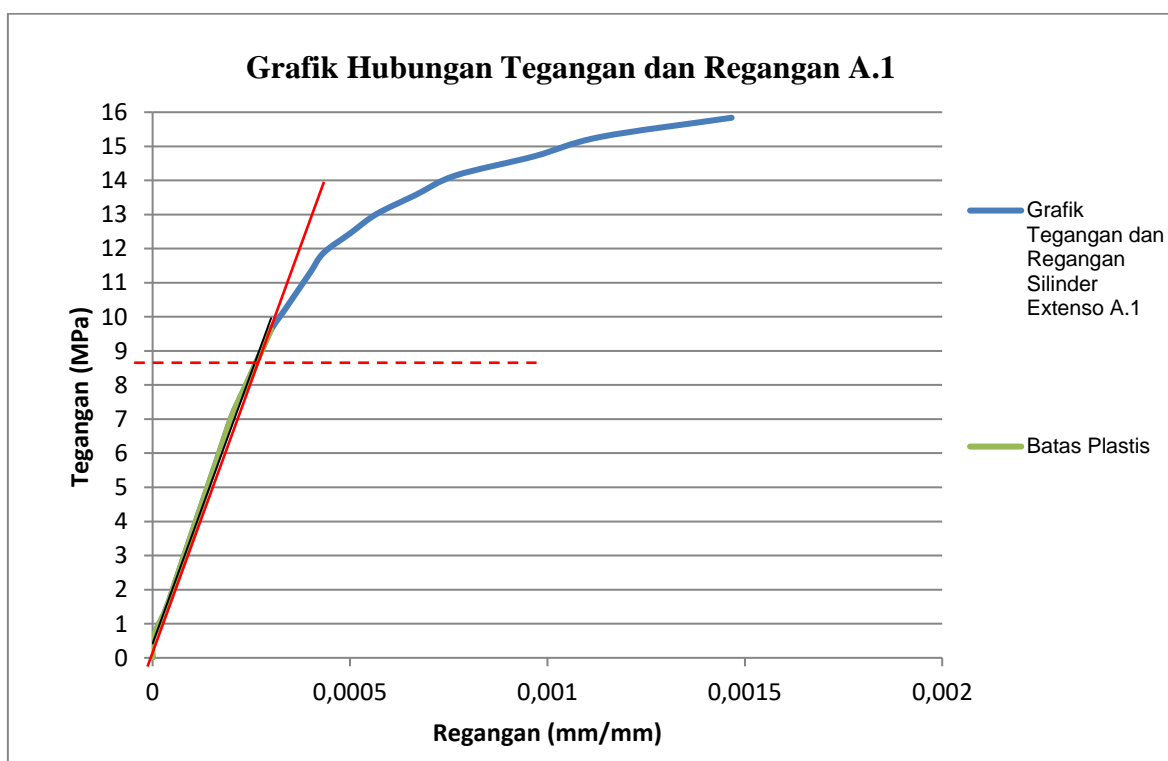
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.03	0.00010
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.04	0.00013
90	5.09	0.04	0.00013
100	5.66	0.05	0.00017
110	6.22	0.05	0.00017
120	6.79	0.06	0.00020
130	7.35	0.06	0.00020
140	7.92	0.07	0.00023
150	8.48	0.08	0.00027
160	9.05	0.08	0.00027
170	9.62	0.09	0.00030
180	10.18	0.1	0.00033
190	10.75	0.11	0.00037
200	11.31	0.12	0.00040
210	11.88	0.13	0.00043
220	12.44	0.15	0.00050
230	13.01	0.17	0.00057
240	13.58	0.2	0.00067
250	14.14	0.23	0.00077
260	14.71	0.29	0.00097
270	15.27	0.34	0.00113
280	15.84	0.44	0.00147

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 27
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.1

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	10.18	0.1	0.00033
0.57	0	0.00000	10.75	0.11	0.00037
1.41	0.01	0.00003	11.31	0.12	0.00040
2.55	0.02	0.00007	11.88	0.13	0.00043
3.68	0.03	0.00010	12.44	0.15	0.00050
4.81	0.04	0.00013	13.01	0.17	0.00057
5.94	0.05	0.00017	13.58	0.2	0.00067
7.07	0.06	0.00020	14.14	0.23	0.00077
7.92	0.07	0.00023	14.71	0.29	0.00097
8.77	0.08	0.00027	15.27	0.34	0.00113
9.62	0.09	0.00030	15.84	0.44	0.00147

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 15 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.1

Sumber : Hasil Penelitian

2. Benda Uji A.2

Tabel 28

Hasil pembacaan extensometer benda uji A.2

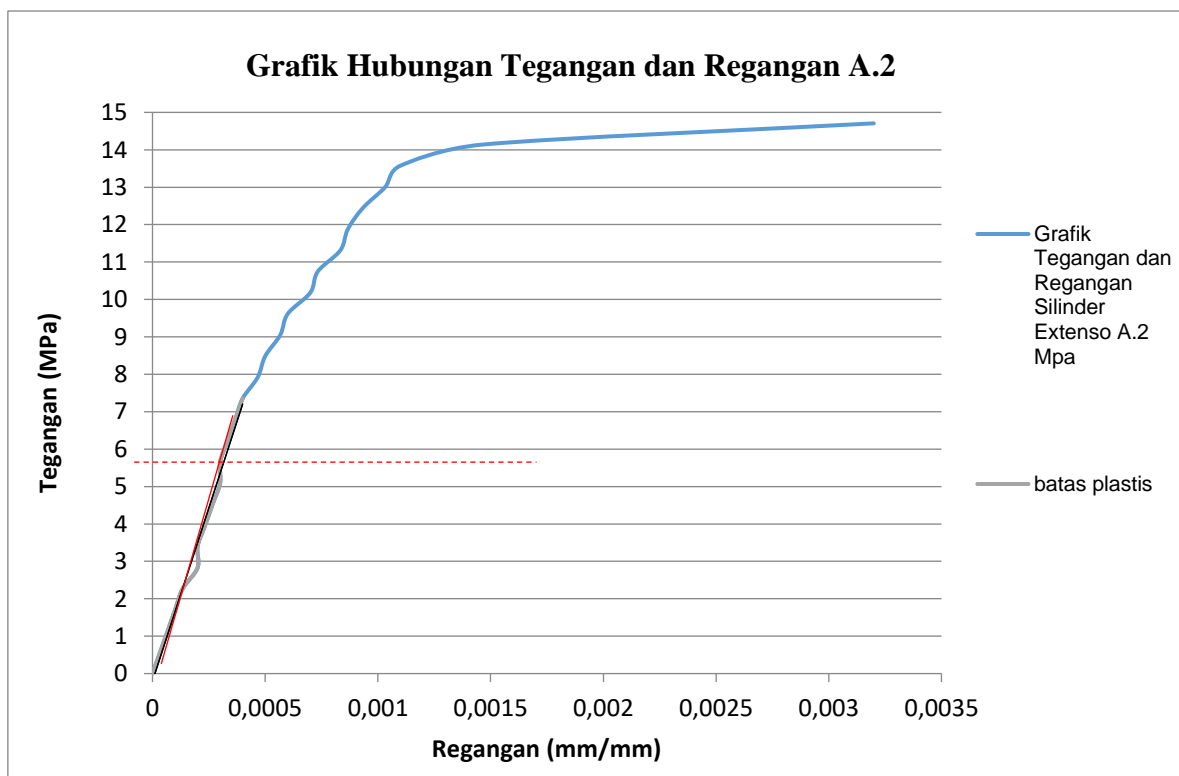
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	0
10	0.565657	0.01	0.00003
20	1.131313	0.02	0.00007
30	1.696970	0.03	0.00010
40	2.262626	0.04	0.00013
50	2.828283	0.06	0.00020
60	3.393939	0.06	0.00020
70	3.959596	0.07	0.00023
80	4.525253	0.08	0.00027
90	5.090909	0.09	0.00030
100	5.656566	0.09	0.00030
110	6.222222	0.1	0.00033
120	6.787879	0.11	0.00037
130	7.353535	0.12	0.00040
140	7.919192	0.14	0.00047
150	8.484848	0.15	0.00050
160	9.050505	0.17	0.00057
170	9.616162	0.18	0.00060
180	10.181818	0.21	0.00070
190	10.747475	0.22	0.00073
200	11.313131	0.25	0.00083
210	11.878788	0.26	0.00087
220	12.444444	0.28	0.00093
230	13.010101	0.31	0.00103
240	13.575758	0.33	0.00110
250	14.141414	0.44	0.00147
260	14.707071	0.96	0.00320

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 29
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.2

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	7.92	0.14	0.00047
0.57	0.01	0.00003	8.48	0.15	0.00050
1.13	0.02	0.00007	9.05	0.17	0.00057
1.70	0.03	0.00010	9.62	0.18	0.00060
2.26	0.04	0.00013	10.18	0.21	0.00070
2.83	0.06	0.00020	10.75	0.22	0.00073
3.39	0.06	0.00020	11.31	0.25	0.00083
3.96	0.07	0.00023	11.88	0.26	0.00087
4.53	0.08	0.00027	12.44	0.28	0.00093
5.09	0.09	0.00030	13.01	0.31	0.00103
5.66	0.09	0.00030	13.58	0.33	0.00110
6.22	0.1	0.00033	14.14	0.44	0.00147
6.79	0.11	0.00037	14.71	0.96	0.00320
7.35	0.12	0.00040			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 16 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.2

Sumber : Hasil Penelitian

3. Benda Uji A.3

Tabel 30

Hasil pembacaan extensometer benda uji A.3

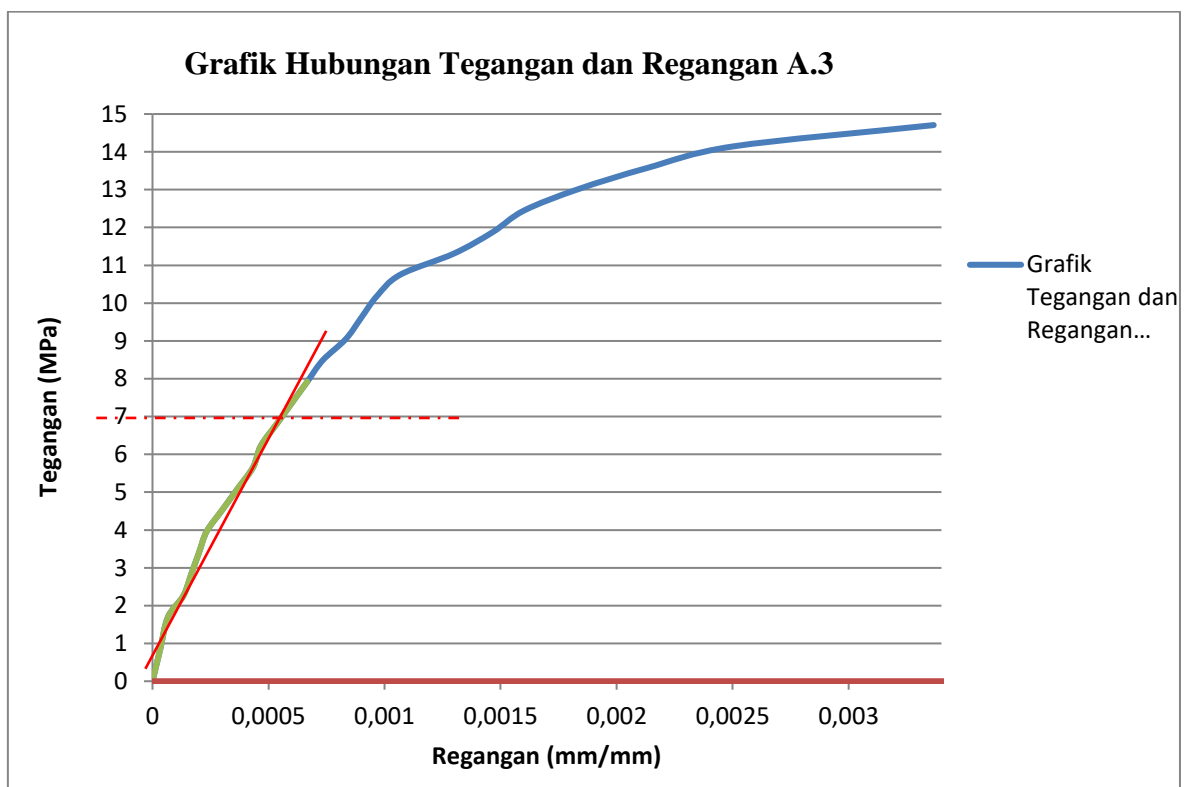
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	0
10	0.57	0.01	0.00003
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.04	0.00013
50	2.83	0.05	0.00017
60	3.39	0.06	0.00020
70	3.96	0.07	0.00023
80	4.53	0.09	0.00030
90	5.09	0.11	0.00037
100	5.66	0.13	0.00043
110	6.22	0.14	0.00047
120	6.79	0.16	0.00053
130	7.35	0.18	0.00060
140	7.92	0.2	0.00067
150	8.48	0.22	0.00073
160	9.05	0.25	0.00083
170	9.62	0.27	0.00090
180	10.18	0.29	0.00097
190	10.75	0.32	0.00107
200	11.31	0.39	0.00130
210	11.88	0.44	0.00147
220	12.44	0.48	0.00160
230	13.01	0.55	0.00183
240	13.58	0.64	0.00213
250	14.14	0.75	0.00250
260	14.71	1.01	0.00337

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 31
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.3

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	7.92	0.2	0.00067
0.85	0.01	0.00003	8.48	0.22	0.00073
1.70	0.02	0.00007	9.05	0.25	0.00083
2.26	0.04	0.00013	9.62	0.27	0.00090
2.83	0.05	0.00017	10.18	0.29	0.00097
3.39	0.06	0.00020	10.75	0.32	0.00107
3.96	0.07	0.00023	11.31	0.39	0.00130
4.53	0.09	0.00030	11.88	0.44	0.00147
5.09	0.11	0.00037	12.44	0.48	0.00160
5.66	0.13	0.00043	13.01	0.55	0.00183
6.22	0.14	0.00047	13.58	0.64	0.00213
6.79	0.16	0.00053	14.14	0.75	0.00250
7.35	0.18	0.00060	14.71	1.01	0.00337

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 17 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.3

Sumber : Hasil Penelitian

4. Benda Uji A.4

Tabel 32

Hasil pembacaan extensometer benda uji A.4

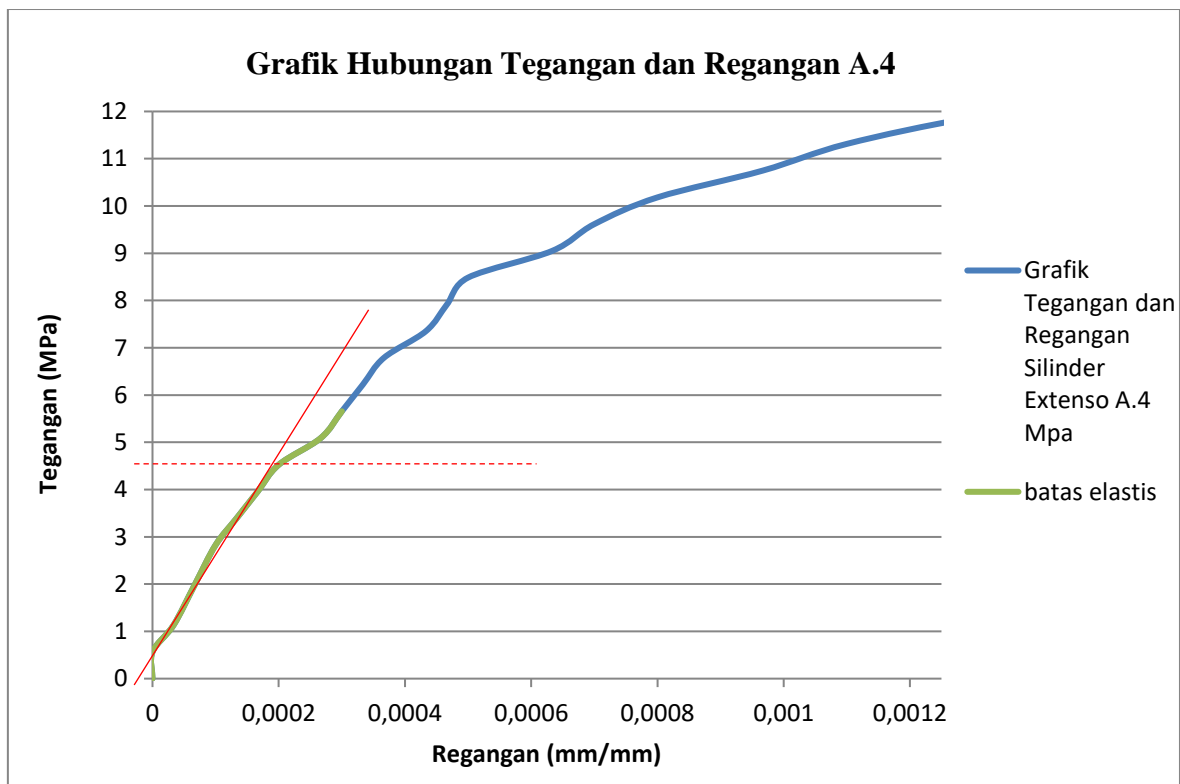
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.03	0.00010
60	3.39	0.04	0.00013
70	3.96	0.05	0.00017
80	4.53	0.06	0.00020
90	5.09	0.08	0.00027
100	5.66	0.09	0.00030
110	6.22	0.1	0.00033
120	6.79	0.11	0.00037
130	7.35	0.13	0.00043
140	7.92	0.14	0.00047
150	8.48	0.15	0.00050
160	9.05	0.19	0.00063
170	9.62	0.21	0.00070
180	10.18	0.24	0.00080
190	10.75	0.29	0.00097
200	11.31	0.33	0.00110
210	11.88	0.39	0.00130
220	12.44	0.47	0.00157
230	13.01	0.87	0.00290

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 33
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.4

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	7.35	0.13	0.00043
0.57	0	0.00000	7.92	0.14	0.00047
1.13	0.01	0.00003	8.48	0.15	0.00050
1.98	0.02	0.00007	9.05	0.19	0.00063
2.83	0.03	0.00010	9.62	0.21	0.00070
3.39	0.04	0.00013	10.18	0.24	0.00080
3.96	0.05	0.00017	10.75	0.29	0.00097
4.53	0.06	0.00020	11.31	0.33	0.00110
5.09	0.08	0.00027	11.88	0.39	0.00130
5.66	0.09	0.00030	12.44	0.47	0.00157
6.22	0.1	0.00033	13.01	0.87	0.00290
6.79	0.11	0.00037			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 18 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.4
Sumber : Hasil Penelitian

5. Benda Uji A.5

Tabel 34

Hasil pembacaan extensometer benda uji A.5

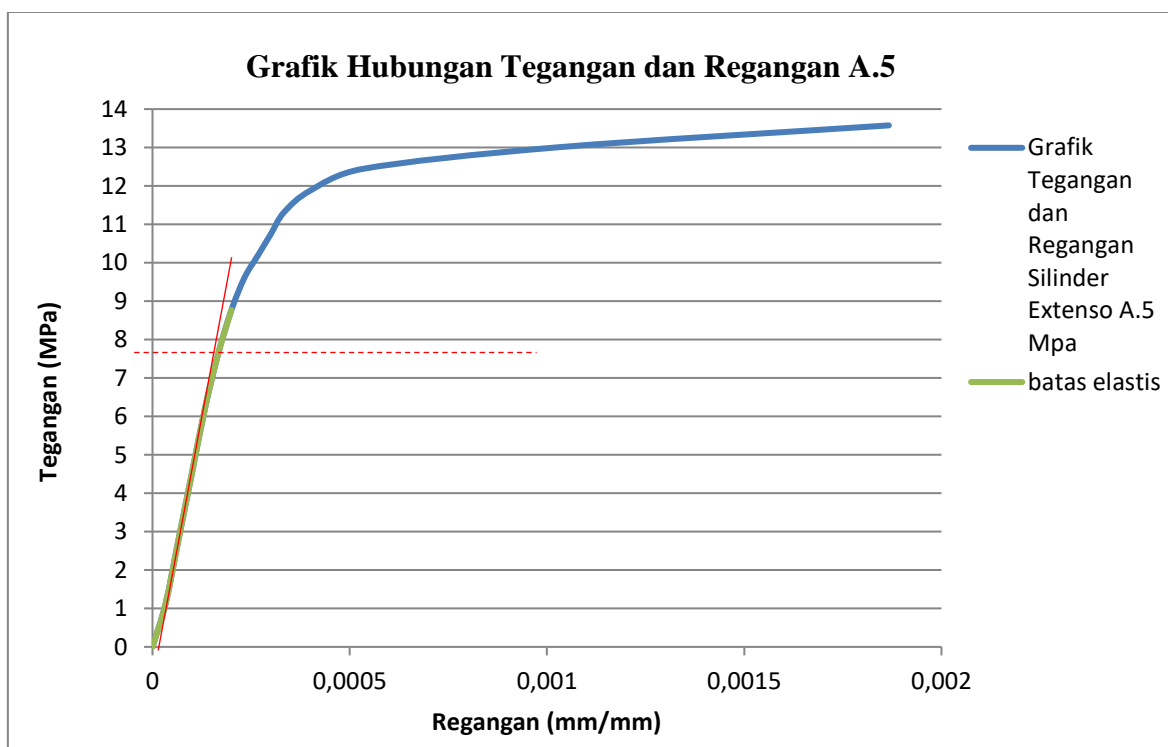
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0.01	0.00003
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.02	0.00007
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.03	0.00010
90	5.09	0.03	0.00010
100	5.66	0.04	0.00013
110	6.22	0.04	0.00013
120	6.79	0.04	0.00013
130	7.35	0.05	0.00017
140	7.92	0.05	0.00017
150	8.48	0.06	0.00020
160	9.05	0.06	0.00020
170	9.62	0.07	0.00023
180	10.18	0.08	0.00027
190	10.75	0.09	0.00030
200	11.31	0.1	0.00033
210	11.88	0.12	0.00040
220	12.44	0.16	0.00053
230	13.01	0.31	0.00103
240	13.58	0.56	0.00187

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 35
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.5

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGA N (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	10.18	0.08	0.00027
1.13	0.01	0.00003	10.75	0.09	0.00030
2.83	0.02	0.00007	11.31	0.1	0.00033
4.53	0.03	0.00010	11.88	0.12	0.00040
6.22	0.04	0.00013	12.44	0.16	0.00053
7.64	0.05	0.00017	13.01	0.31	0.00103
8.77	0.06	0.00020	13.58	0.56	0.00187
9.62	0.07	0.00023			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 19 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.5

Sumber : Hasil Penelitian

6. Benda Uji A.7

Tabel 38

Hasil pembacaan extensometer benda uji A.7

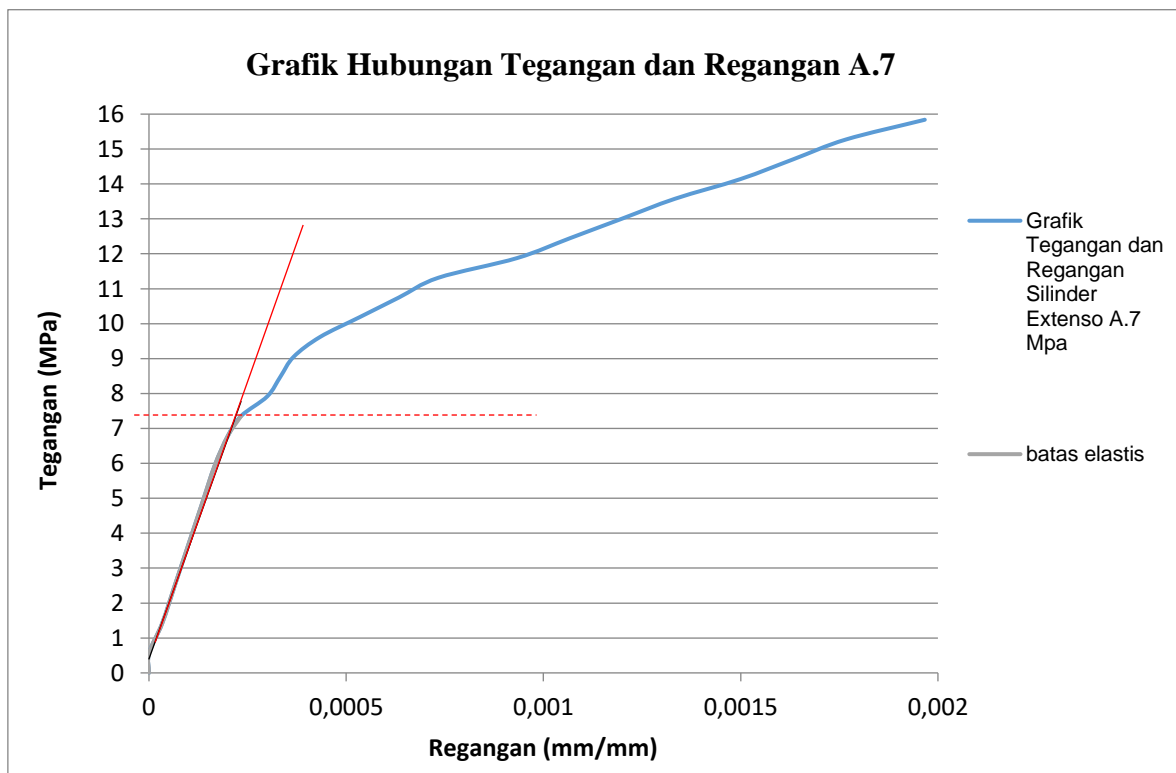
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.03	0.00010
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.04	0.00013
90	5.09	0.04	0.00013
100	5.66	0.05	0.00017
110	6.22	0.05	0.00017
120	6.79	0.06	0.00020
130	7.35	0.07	0.00023
140	7.92	0.09	0.00030
150	8.48	0.1	0.00033
160	9.05	0.11	0.00037
170	9.62	0.13	0.00043
180	10.18	0.16	0.00053
190	10.75	0.19	0.00063
200	11.31	0.22	0.00073
210	11.88	0.28	0.00093
220	12.44	0.32	0.00107
230	13.01	0.36	0.00120
240	13.58	0.4	0.00133
250	14.14	0.45	0.00150
260	14.71	0.49	0.00163
270	15.27	0.53	0.00177
280	15.84	0.59	0.00197

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 39
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.7

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	9.62	0.13	0.00043
0.57	0	0.00000	10.18	0.16	0.00053
1.41	0.01	0.00003	10.75	0.19	0.00063
2.55	0.02	0.00007	11.31	0.22	0.00073
3.68	0.03	0.00010	11.88	0.28	0.00093
4.81	0.04	0.00013	12.44	0.32	0.00107
5.94	0.05	0.00017	13.01	0.36	0.00120
6.79	0.06	0.00020	13.58	0.4	0.00133
7.35	0.07	0.00023	14.14	0.45	0.00150
7.92	0.09	0.00030	14.71	0.49	0.00163
8.48	0.1	0.00033	15.27	0.53	0.00177
9.05	0.11	0.00037	15.84	0.59	0.00197

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 21 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.7

Sumber : Hasil Penelitian

7. Benda Uji A.8

Tabel 40

Hasil pembacaan extensometer benda uji A.8

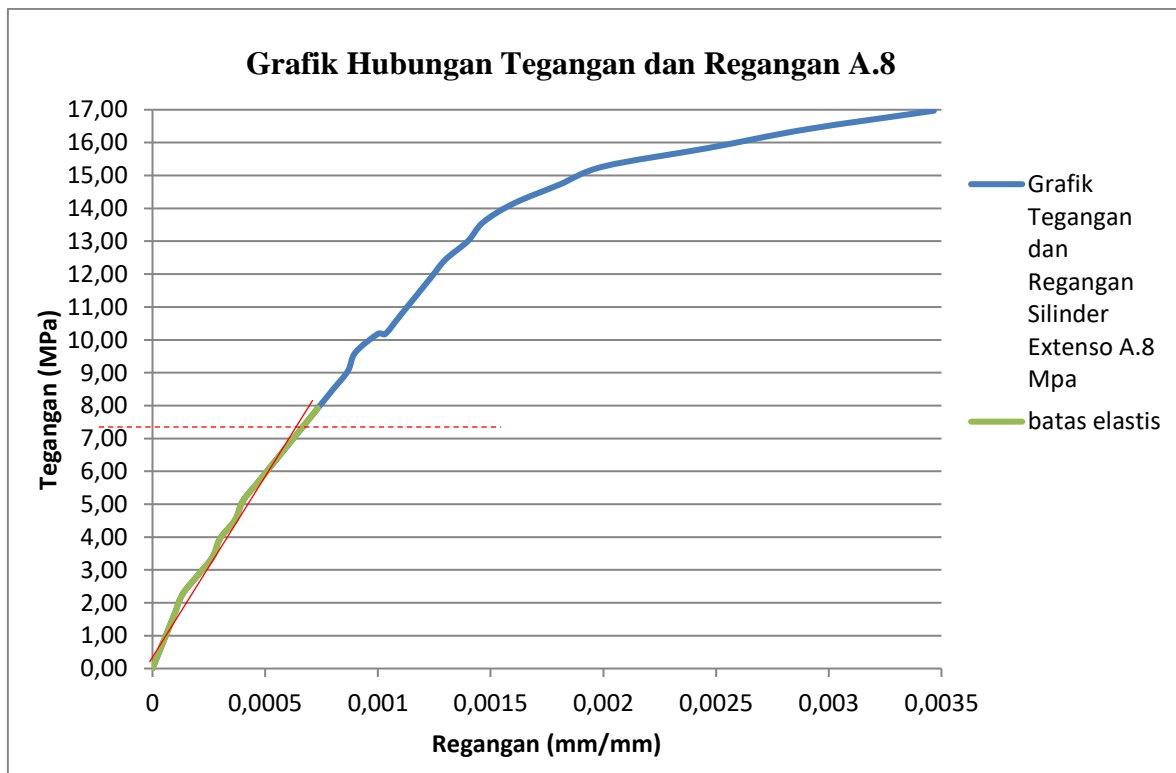
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	0
10	0.57	0.01	0.00003
20	1.13	0.02	0.00007
30	1.70	0.03	0.00010
40	2.26	0.04	0.00013
50	2.83	0.06	0.00020
60	3.39	0.08	0.00027
70	3.96	0.09	0.00030
80	4.53	0.11	0.00037
90	5.09	0.12	0.00040
100	5.66	0.14	0.00047
110	6.22	0.16	0.00053
120	6.79	0.18	0.00060
130	7.35	0.2	0.00067
140	7.92	0.22	0.00073
150	8.48	0.24	0.00080
160	9.05	0.26	0.00087
170	9.62	0.27	0.00090
180	10.18	0.31	0.00103
190	10.75	0.33	0.00110
200	11.31	0.30	0.00100
210	11.88	0.37	0.00123
220	12.44	0.39	0.00130
230	13.01	0.42	0.00140
240	13.58	0.44	0.00147
250	14.14	0.48	0.00160
260	14.71	0.54	0.00180
270	15.27	0.6	0.00200
280	15.84	0.74	0.00247
290	16.40	0.87	0.00290
300	16.97	1.04	0.00347

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 41
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.8

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0.00	0	0	9.05	0.26	0.00087
0.57	0.01	0.00003	9.62	0.27	0.00090
1.13	0.02	0.00007	10.18	0.3	0.001
1.70	0.03	0.00010	10.18	0.31	0.001033333
2.26	0.04	0.00013	10.75	0.33	0.0011
2.83	0.06	0.00020	11.88	0.37	0.00123
3.39	0.08	0.00027	12.44	0.39	0.00130
3.96	0.09	0.00030	13.01	0.42	0.00140
4.53	0.11	0.00037	13.58	0.44	0.00147
5.09	0.12	0.00040	14.14	0.48	0.00160
5.66	0.14	0.00047	14.71	0.54	0.00180
6.22	0.16	0.00053	15.27	0.6	0.00200
6.79	0.18	0.00060	15.84	0.74	0.00247
7.35	0.20	0.00067	16.40	0.87	0.00290
7.92	0.22	0.00073	16.97	1.04	0.00347
8.48	0.24	0.00080			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 22 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.8

Sumber : Hasil Penelitian

8. Benda Uji A.9

Tabel 42

Hasil pembacaan extensometer benda uji A.9

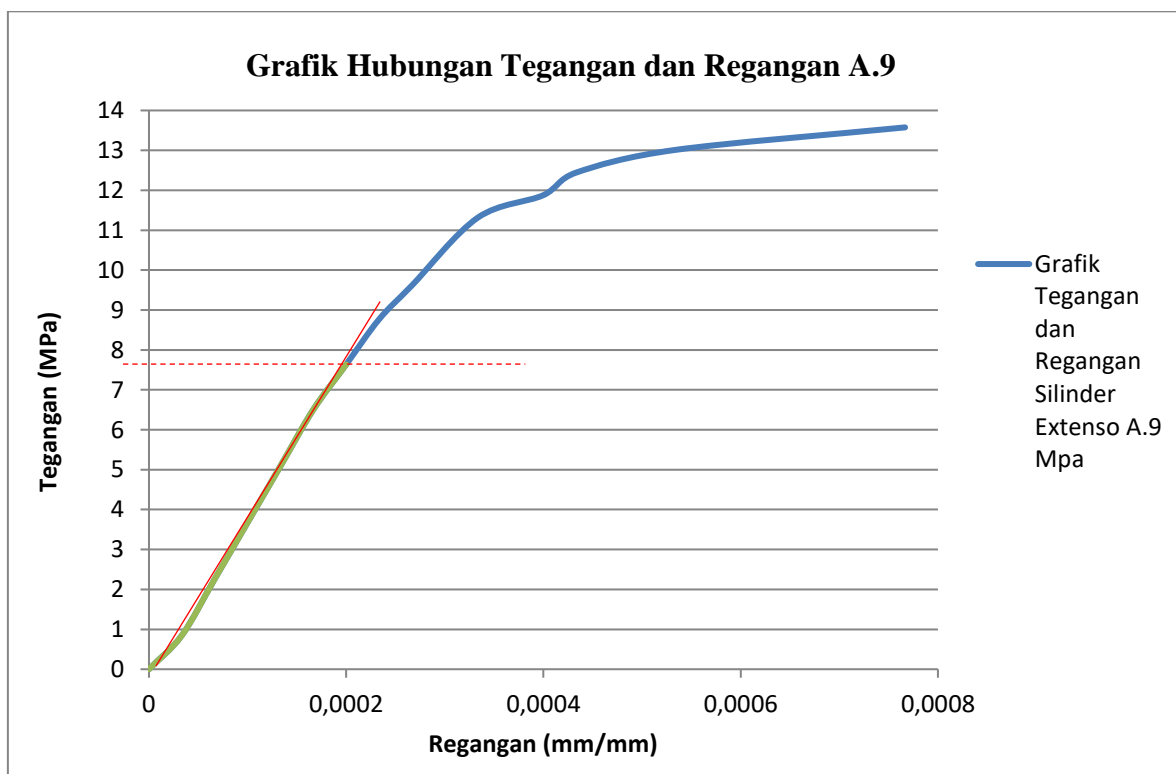
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0.01	0.00003
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.03	0.00010
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.04	0.00013
90	5.09	0.04	0.00013
100	5.66	0.04	0.00013
110	6.22	0.05	0.00017
120	6.79	0.05	0.00017
130	7.35	0.06	0.00020
140	7.92	0.06	0.00020
150	8.48	0.07	0.00023
160	9.05	0.07	0.00023
170	9.62	0.08	0.00027
180	10.18	0.09	0.00030
190	10.75	0.09	0.00030
200	11.31	0.1	0.00033
210	11.88	0.12	0.00040
220	12.44	0.13	0.00043
230	13.01	0.16	0.00053
240	13.58	0.23	0.00077

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 43
Hasil pembacaan extensometer benda uji A.9

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0
0.85	0.01	0.00003
2.26	0.02	0.00007
3.68	0.03	0.00010
5.09	0.04	0.00013
6.51	0.05	0.00017
7.64	0.06	0.00020
8.77	0.07	0.00023
9.62	0.08	0.00027
11.31	0.1	0.00033
11.88	0.12	0.00040
12.44	0.13	0.00043
13.01	0.16	0.00053
13.58	0.23	0.00077

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 23 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.9

Sumber : Hasil Penelitian

9. Benda Uji B.1

Tabel 44

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.1

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.01	0.00003
80	4.53	0.01	0.00003
90	5.09	0.01	0.00003
100	5.66	0.01	0.00003
110	6.22	0.01	0.00003
120	6.79	0.02	0.00007
130	7.35	0.02	0.00007
140	7.92	0.02	0.00007
150	8.48	0.02	0.00007
160	9.05	0.02	0.00007
170	9.62	0.02	0.00007
180	10.18	0.03	0.00010
190	10.75	0.03	0.00010
200	11.31	0.03	0.00010
210	11.88	0.03	0.00010
220	12.44	0.03	0.00010
230	13.01	0.04	0.00013
240	13.58	0.04	0.00013
250	14.14	0.04	0.00013
260	14.71	0.04	0.00013
270	15.27	0.04	0.00013
280	15.84	0.06	0.00020
290	16.40	0.06	0.00020
300	16.97	0.07	0.00023
310	17.54	0.08	0.00027
320	18.10	0.09	0.00030
330	18.67	0.1	0.00033
340	19.23	0.1	0.00033

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
350	19.80	0.1	0.00033
360	20.36	0.1	0.00033
370	20.93	0.1	0.00033
380	21.49	0.24	0.00080

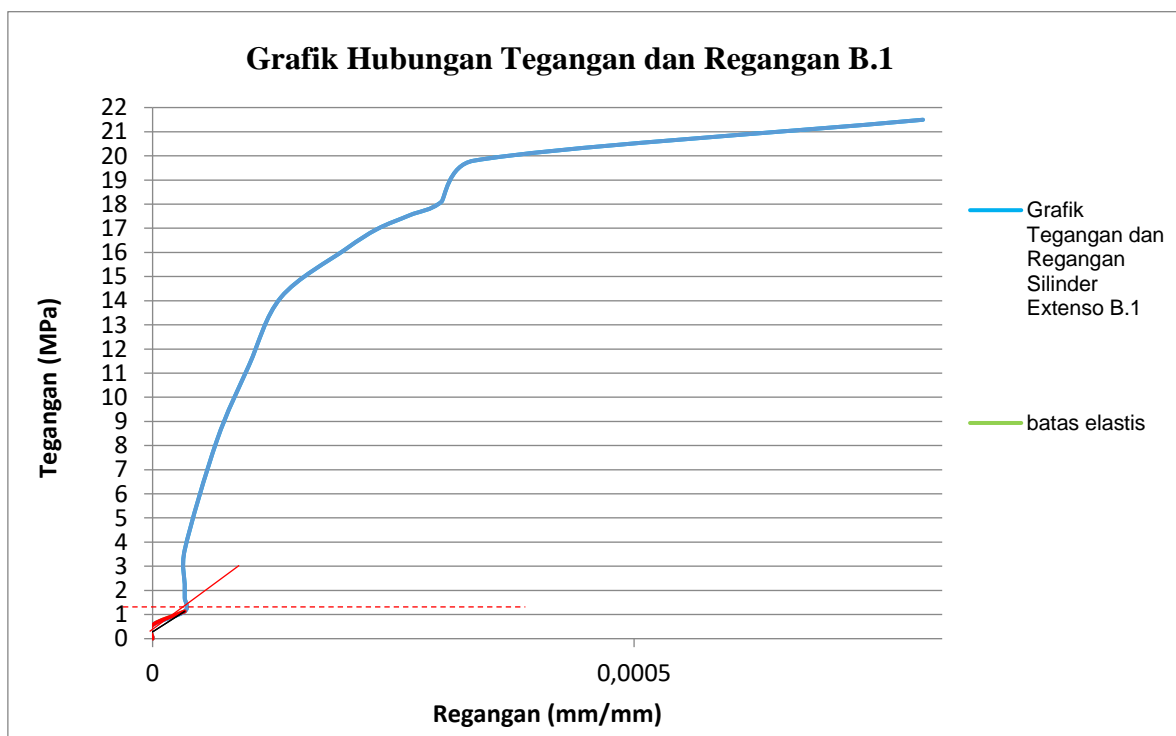
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 45

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.1

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	14.14	0.04	0.00013
0.57	0	0.00000	16.12	0.06	0.00020
1.13	0.01	0.00003	16.97	0.07	0.00023
1.70	0.01	0.00003	17.54	0.08	0.00027
2.26	0.01	0.00003	18.10	0.09	0.00030
3.68	0.01	0.00003	19.80	0.1	0.00033
8.20	0.02	0.00007	21.49	0.24	0.00080
11.31	0.03	0.00010			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 24 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.1

Sumber : Hasil Penelitian

10. Benda Uji B.2

Tabel 46

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.2

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.03	0.00010
60	3.39	0.03	0.00010
70	3.96	0.04	0.00013
80	4.53	0.04	0.00013
90	5.09	0.05	0.00017
100	5.66	0.06	0.00020
110	6.22	0.06	0.00020
120	6.79	0.07	0.00023
130	7.35	0.08	0.00027
140	7.92	0.09	0.00030
150	8.48	0.1	0.00033
160	9.05	0.11	0.00037
170	9.62	0.12	0.00040
180	10.18	0.14	0.00047
190	10.75	0.15	0.00050
200	11.31	0.17	0.00057
210	11.88	0.21	0.00070
220	12.44	0.21	0.00070
230	13.01	0.23	0.00077
240	13.58	0.24	0.00080
250	14.14	0.26	0.00087
260	14.71	0.29	0.00097
270	15.27	0.31	0.00103
280	15.84	0.33	0.00110
290	16.40	0.36	0.00120
300	16.97	0.39	0.00130
310	17.54	0.42	0.00140
320	18.10	0.45	0.00150
330	18.67	0.49	0.00163

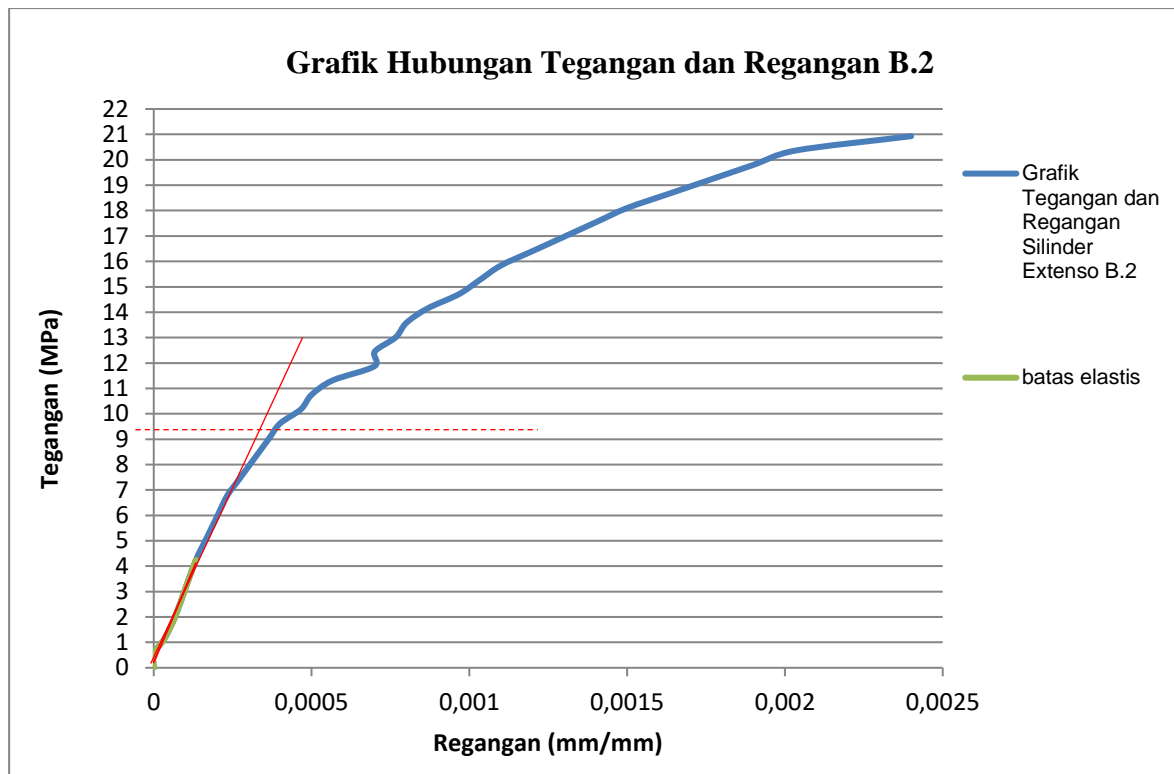
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
340	19.23	0.53	0.00177
350	19.80	0.57	0.00190
360	20.36	0.61	0.00203
370	20.93	0.72	0.00240

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 47

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.2

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	11.88	0.21	0.00070
0.57	0	0.00000	12.44	0.21	0.00070
1.13	0.01	0.00003	13.01	0.23	0.00077
1.98	0.02	0.00007	13.58	0.24	0.00080
3.11	0.03	0.00010	14.14	0.26	0.00087
4.24	0.04	0.00013	14.71	0.29	0.00097
5.09	0.05	0.00017	15.27	0.31	0.00103
5.94	0.06	0.00020	15.84	0.33	0.00110
6.79	0.07	0.00023	16.40	0.36	0.00120
7.35	0.08	0.00027	16.97	0.39	0.00130
7.92	0.09	0.00030	17.54	0.42	0.00140
8.48	0.1	0.00033	18.10	0.45	0.00150
9.05	0.11	0.00037	18.67	0.49	0.00163
9.62	0.12	0.00040	19.23	0.53	0.00177
10.18	0.14	0.00047	19.80	0.57	0.00190
10.75	0.15	0.00050	20.36	0.61	0.00203
11.31	0.17	0.00057	20.93	0.72	0.00240



Gambar 25 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.2

Sumber : Hasil Penelitian

11. Benda Uji B.3

Tabel 48

Hasil pembacaan extensometer benda uji B3

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.03	0.00010
50	2.83	0.03	0.00010
60	3.39	0.04	0.00013
70	3.96	0.05	0.00017
80	4.53	0.06	0.00020
90	5.09	0.07	0.00023
100	5.66	0.07	0.00023
110	6.22	0.08	0.00027
120	6.79	0.09	0.00030
130	7.35	0.1	0.00033
140	7.92	0.11	0.00037
150	8.48	0.12	0.00040
160	9.05	0.13	0.00043
170	9.62	0.15	0.00050
180	10.18	0.16	0.00053
190	10.75	0.18	0.00060
200	11.31	0.2	0.00067
210	11.88	0.22	0.00073
220	12.44	0.24	0.00080
230	13.01	0.27	0.00090
240	13.58	0.29	0.00097
250	14.14	0.32	0.00107
260	14.71	0.34	0.00113
270	15.27	0.37	0.00123
280	15.84	0.4	0.00133
290	16.40	0.44	0.00147
300	16.97	0.47	0.00157
310	17.54	0.51	0.00170
320	18.10	0.55	0.00183
330	18.67	0.6	0.00200
340	19.23	0.65	0.00217

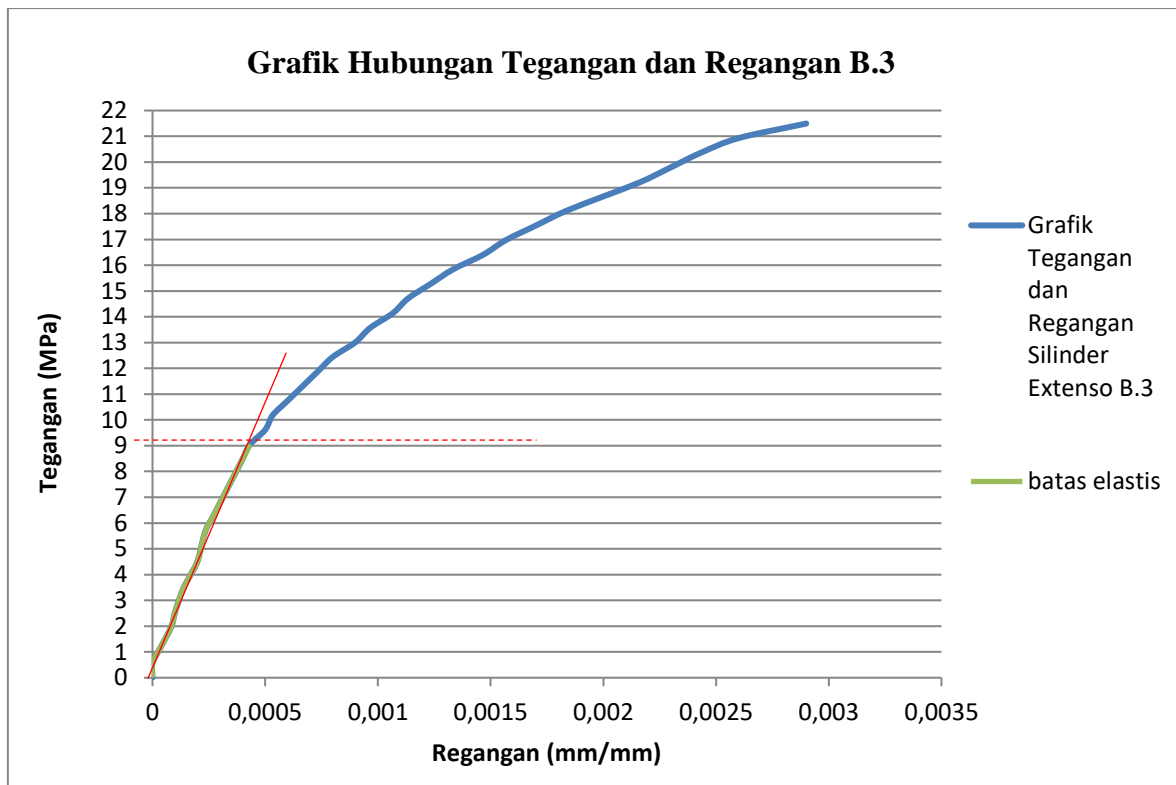
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
350	19.80	0.69	0.00230
360	20.36	0.73	0.00243
370	20.93	0.78	0.00260
380	21.49	0.87	0.00290

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 49
Hasil pembacaan extensometer benda uji B3

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	16.97	0.47	0.00157
0.57	0	0.00000	17.54	0.51	0.00170
1.13	0.01	0.00003	18.10	0.55	0.00183
1.98	0.02	0.00008	18.67	0.6	0.00200
2.55	0.03	0.00010	19.23	0.65	0.00217
3.39	0.04	0.00013	19.80	0.69	0.00230
3.96	0.05	0.00017	20.36	0.73	0.00243
4.53	0.06	0.00020	20.93	0.78	0.00260
5.66	0.07	0.00023	21.49	0.87	0.00290
6.22	0.08	0.00027			
6.79	0.09	0.00030			
7.35	0.1	0.00033			
7.92	0.11	0.00037			
8.48	0.12	0.00040			
9.05	0.13	0.00043			
9.62	0.15	0.00050			
10.18	0.16	0.00053			
10.75	0.18	0.00060			
11.31	0.2	0.00067			
11.88	0.22	0.00073			
12.44	0.24	0.00080			
13.01	0.27	0.00090			
13.58	0.29	0.00097			
14.14	0.32	0.00107			
14.71	0.34	0.00113			
15.27	0.37	0.00123			
15.84	0.4	0.00133			
16.40	0.44	0.00147			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 26 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.3
Sumber : Hasil Penelitian

12. Benda Uji B.4

Tabel 50

Hasil pembacaan extensometer benda uji B4

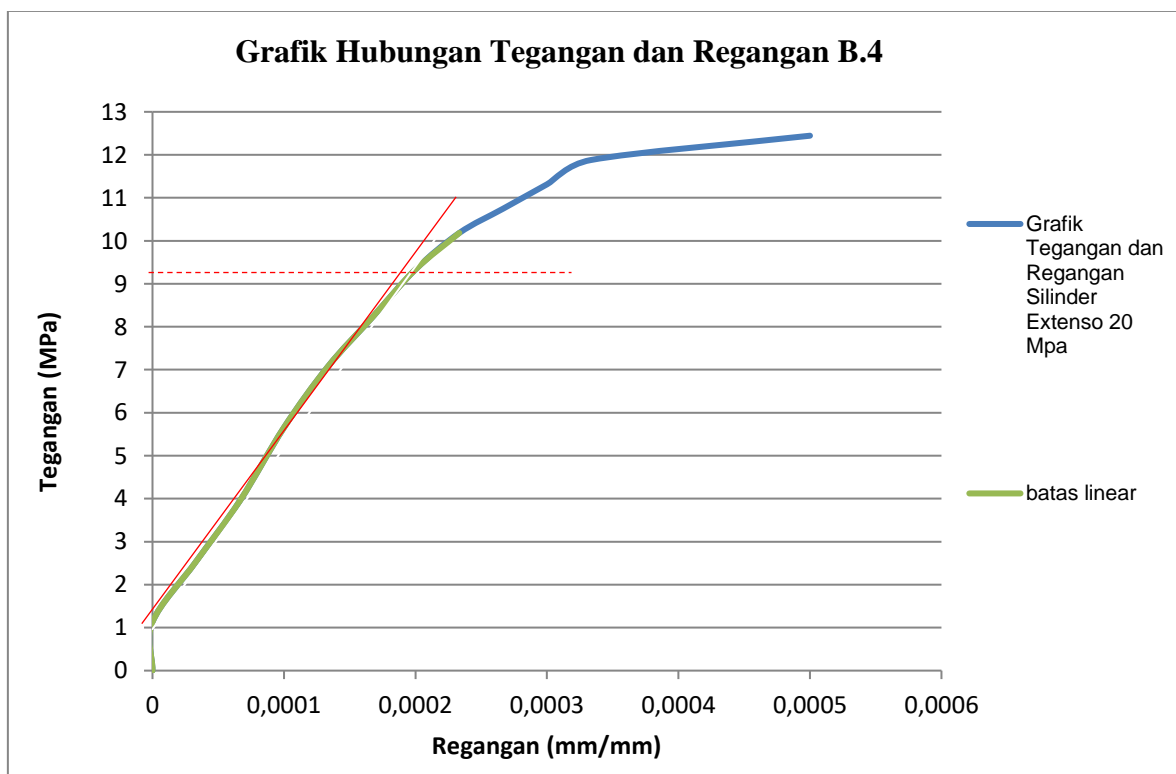
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0	0.00000
30	1.70	0	0.00000
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.02	0.00007
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.03	0.00010
100	5.66	0.03	0.00010
110	6.22	0.03	0.00010
120	6.79	0.04	0.00013
130	7.35	0.04	0.00013
140	7.92	0.05	0.00017
150	8.48	0.05	0.00017
160	9.05	0.06	0.00020
170	9.62	0.06	0.00020
180	10.18	0.07	0.00023
190	10.75	0.08	0.00027
200	11.31	0.09	0.00030
210	11.88	0.1	0.00033
220	12.44	0.15	0.00050

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 51
Hasil pembacaan extensometer benda uji B3

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0
1.13	0	0.00000
2.55	0.01	0.00003
3.96	0.02	0.00007
5.66	0.03	0.00010
7.07	0.04	0.00013
8.20	0.05	0.00017
9.33	0.06	0.00020
10.18	0.07	0.00023
10.75	0.08	0.00027
11.31	0.09	0.00030
11.88	0.1	0.00033
12.44	0.15	0.00050

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 27 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.4

Sumber : Hasil Penelitian

13. Benda Uji B.5

Tabel 52

Hasil pembacaan extensometer benda uji B5

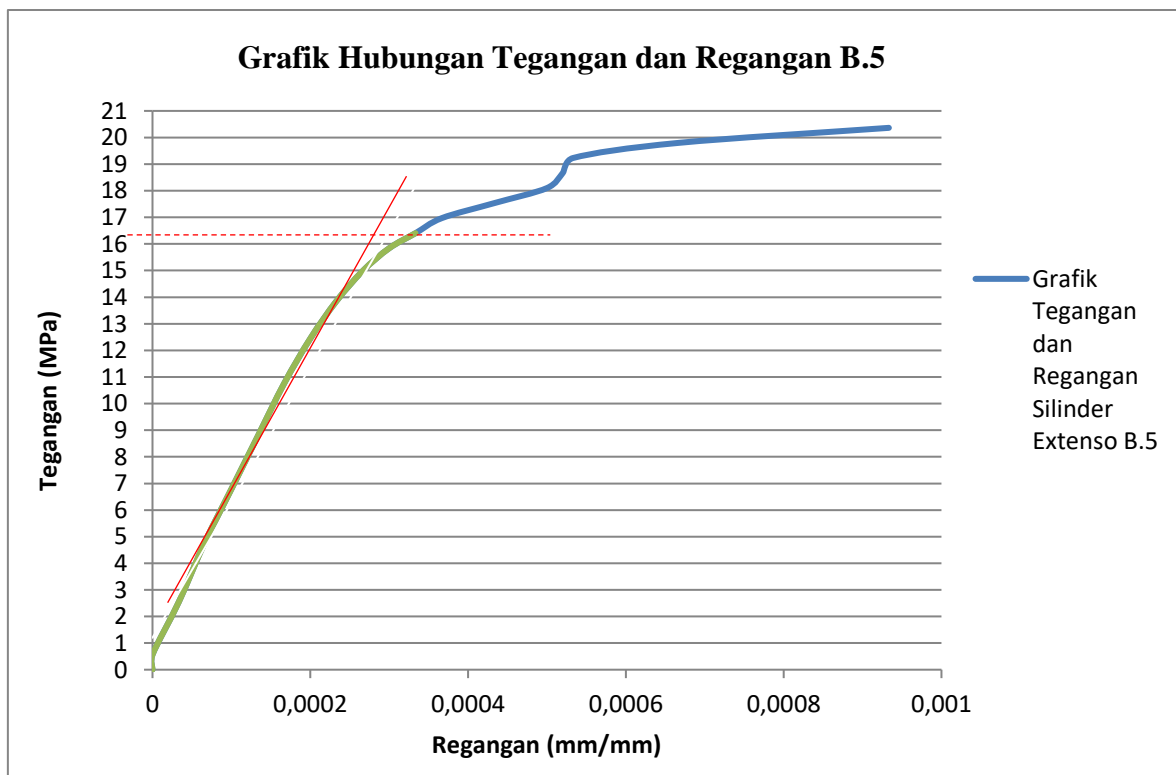
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0	0.00000
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.02	0.00007
100	5.66	0.02	0.00007
110	6.22	0.03	0.00010
120	6.79	0.03	0.00010
130	7.35	0.03	0.00010
140	7.92	0.04	0.00013
150	8.48	0.04	0.00013
160	9.05	0.04	0.00013
170	9.62	0.04	0.00013
180	10.18	0.05	0.00017
190	10.75	0.05	0.00017
200	11.31	0.05	0.00017
210	11.88	0.06	0.00020
220	12.44	0.06	0.00020
230	13.01	0.06	0.00020
240	13.58	0.07	0.00023
250	14.14	0.07	0.00023
260	14.71	0.08	0.00027
270	15.27	0.08	0.00027
280	15.84	0.09	0.00030
290	16.40	0.1	0.00033
300	16.97	0.11	0.00037
310	17.54	0.13	0.00043
320	18.10	0.15	0.00050
330	18.67	0.15	0.00050
340	19.23	0.16	0.00053
350	19.80	0.2	0.00067
360	20.36	0.28	0.00093

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 53
Hasil pembacaan extensometer benda uji B5

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	15.84	0.09	0.000300
0.57	0	0.000000	16.40	0.1	0.000333
2.55	0.01	0.000033	16.97	0.11	0.000367
4.81	0.02	0.000067	17.54	0.13	0.000433
6.79	0.03	0.000100	18.10	0.15	0.000500
8.77	0.04	0.000133	18.67	0.15	0.000520
10.75	0.05	0.000167	19.23	0.16	0.000533
12.44	0.06	0.000200	19.80	0.2	0.000667
13.86	0.07	0.000233	20.36	0.28	0.000933
14.99	0.08	0.000267			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 28 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.5

Sumber : Hasil Penelitian

14. Benda Uji B.6

Tabel 54

Hasil pembacaan extensometer benda uji B6

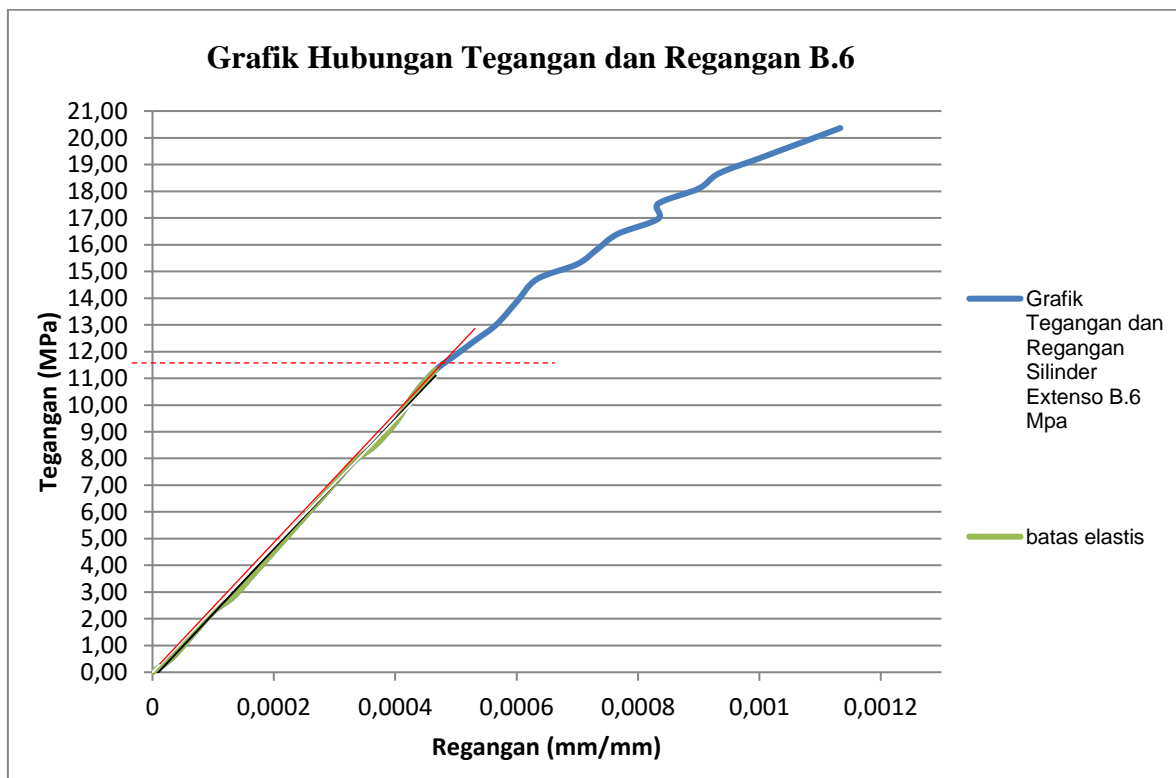
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0.01	0.00003
20	1.13	0.02	0.00007
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.03	0.00010
50	2.83	0.04	0.00013
60	3.39	0.05	0.00017
70	3.96	0.05	0.00017
80	4.53	0.06	0.00020
90	5.09	0.07	0.00023
100	5.66	0.07	0.00023
110	6.22	0.08	0.00027
120	6.79	0.09	0.00030
130	7.35	0.09	0.00030
140	7.92	0.1	0.00033
150	8.48	0.11	0.00037
160	9.05	0.12	0.00040
170	9.62	0.12	0.00040
180	10.18	0.13	0.00043
190	10.75	0.13	0.00043
200	11.31	0.14	0.00047
210	11.88	0.15	0.00050
220	12.44	0.16	0.00053
230	13.01	0.17	0.00057
240	13.58	0.18	0.00060
250	14.14	0.18	0.00060
260	14.71	0.19	0.00063
270	15.27	0.21	0.00070
280	15.84	0.22	0.00073
290	16.40	0.23	0.00077
300	16.97	0.25	0.00083
310	17.54	0.25	0.00083
320	18.10	0.27	0.00090
330	18.67	0.28	0.00093
340	19.23	0.3	0.00100
350	19.80	0.32	0.00107
360	20.36	0.34	0.00113

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 55
Hasil pembacaan extensometer benda uji B6

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	11.88	0.15	0.00050
0.57	0.01	0.00003	12.44	0.16	0.00053
1.41	0.02	0.00007	13.01	0.17	0.00057
2.26	0.03	0.00010	13.86	0.18	0.00060
2.83	0.04	0.00013	14.71	0.19	0.00063
3.68	0.05	0.00017	15.27	0.21	0.00070
4.53	0.06	0.00020	15.84	0.22	0.00073
5.37	0.07	0.00023	16.40	0.23	0.00077
6.22	0.08	0.000267	16.97	0.25	0.00083
7.07	0.09	0.00030	17.54	0.25	0.00083
7.92	0.1	0.00033	18.10	0.27	0.00090
8.48	0.11	0.00036	18.67	0.28	0.00093
9.33	0.12	0.00040	19.23	0.3	0.00100
10.46	0.13	0.00043	19.80	0.32	0.00107
11.31	0.14	0.00047	20.36	0.34	0.00113

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 29 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.6

Sumber : Hasil Penelitian

15. Benda Uji B.7

Tabel 56

Hasil pembacaan extensometer benda uji B7

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0	0.00000
30	1.70	0	0.00000
40	2.26	0	0.00000
50	2.83	0	0.00000
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.01	0.00003
80	4.53	0.01	0.00003
90	5.09	0.01	0.00003
100	5.66	0.01	0.00003
110	6.22	0.01	0.00003
120	6.79	0.02	0.00007
130	7.35	0.02	0.00007
140	7.92	0.02	0.00007
150	8.48	0.02	0.00007
160	9.05	0.02	0.00007
170	9.62	0.02	0.00007
180	10.18	0.03	0.00010
190	10.75	0.03	0.00010
200	11.31	0.03	0.00010
210	11.88	0.03	0.00010
220	12.44	0.04	0.00013
230	13.01	0.04	0.00013
240	13.58	0.05	0.00017
250	14.14	0.05	0.00017
260	14.71	0.06	0.00020
270	15.27	0.06	0.00020
280	15.84	0.07	0.00023
290	16.40	0.09	0.00030
300	16.97	0.11	0.00037
310	17.54	0.13	0.00043
320	18.10	0.23	0.00077
330	18.67	0.29	0.00097

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
340	19.23	0.35	0.00117
350	19.80	0.39	0.00130
360	20.36	0.43	0.00143
370	20.93	0.55	0.00183
380	21.49	0.58	0.00193

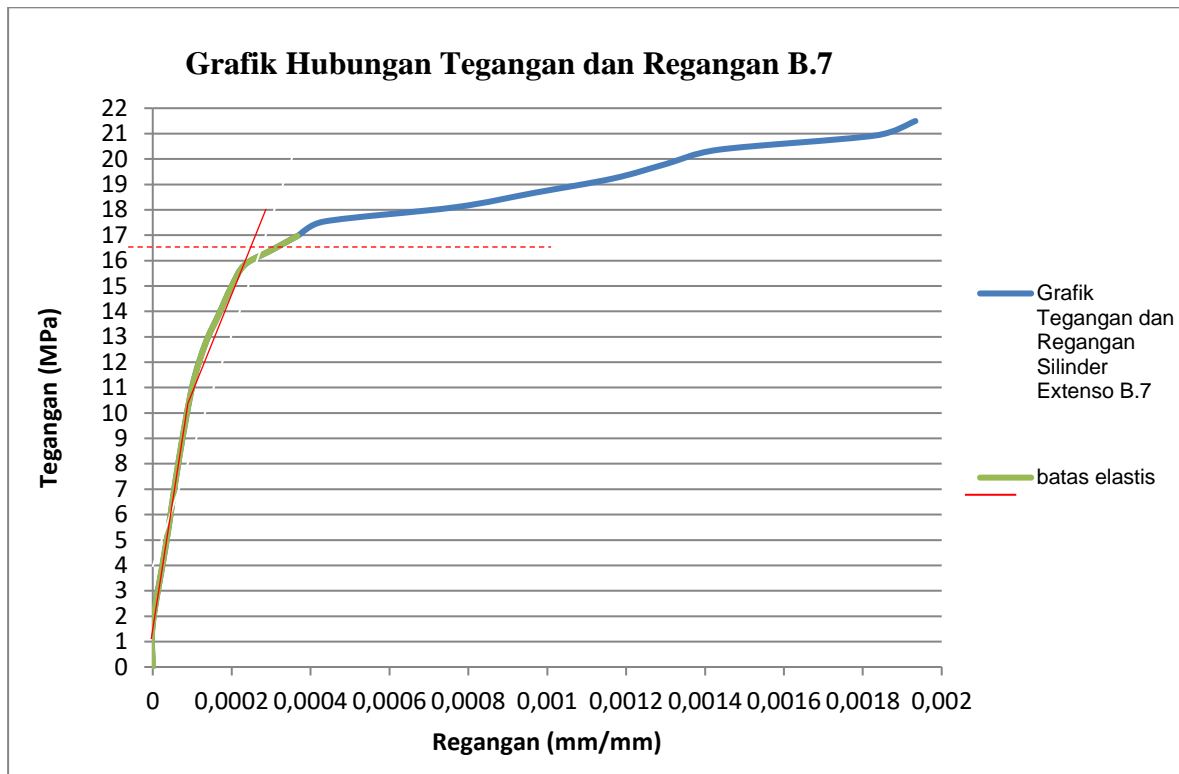
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 57

Hasil pembacaan extensometer benda uji B7

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0
1.70	0	0.0000
4.81	0.010	0.0000
8.20	0.02	0.0001
11.03	0.03	0.0001
12.73	0.04	0.0001
13.86	0.05	0.0002
14.99	0.06	0.0002
15.84	0.07	0.0002
16.40	0.09	0.0003
16.97	0.11	0.0004
17.54	0.13	0.0004
18.10	0.23	0.0008
18.67	0.29	0.0010
19.23	0.35	0.0012
19.80	0.39	0.0013
20.36	0.43	0.0014
20.93	0.55	0.0018
21.49	0.58	0.00193

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 30 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.7
 Sumber : Hasil Penelitian

16. Benda Uji B.8

Tabel 58

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.8

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0.01	0.00003
20	1.13	0.02	0.00007
30	1.70	0.03	0.00010
40	2.26	0.04	0.00013
50	2.83	0.05	0.00017
60	3.39	0.06	0.00020
70	3.96	0.07	0.00023
80	4.53	0.08	0.00027
90	5.09	0.1	0.00033
100	5.66	0.11	0.00037
110	6.22	0.14	0.00047
120	6.79	0.15	0.00050
130	7.35	0.17	0.00057
140	7.92	0.18	0.00060
150	8.48	0.2	0.00067
160	9.05	0.22	0.00073
170	9.62	0.24	0.00080
180	10.18	0.25	0.00083
190	10.75	0.29	0.00097
200	11.31	0.31	0.00103
210	11.88	0.33	0.00110
220	12.44	0.35	0.00117
230	13.01	0.37	0.00123
240	13.58	0.38	0.00127
250	14.14	0.4	0.00133
260	14.71	0.41	0.00137
270	15.27	0.42	0.00140
280	15.84	0.43	0.00143
290	16.40	0.44	0.00147
300	16.97	0.44	0.00147
310	17.54	0.45	0.00150
320	18.10	0.46	0.00153
330	18.67	0.47	0.00157
340	19.23	0.47	0.00157
350	19.80	0.48	0.00160

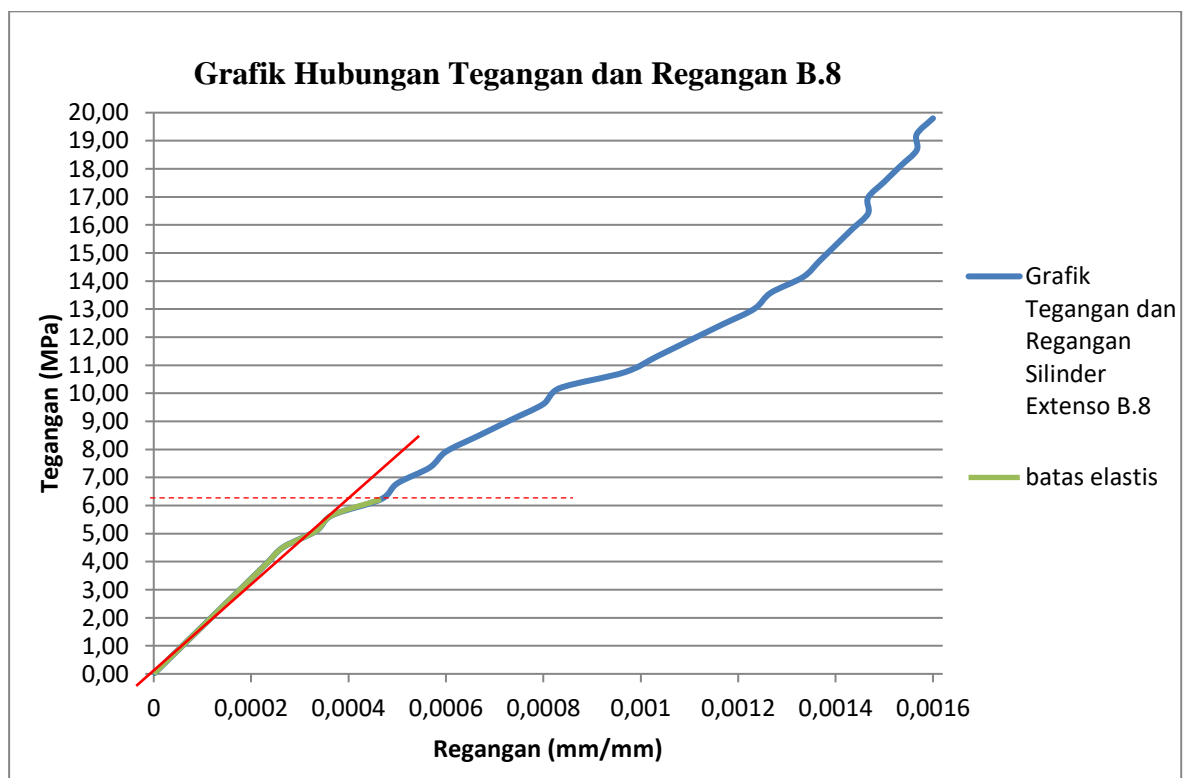
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 59

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.8

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0.00	0	0	10.18	0.25	0.00083
0.57	0.01	0.00003	10.75	0.29	0.00097
1.13	0.02	0.00007	11.31	0.31	0.00103
1.70	0.03	0.00010	11.88	0.33	0.00110
2.26	0.04	0.00013	12.44	0.35	0.00117
2.83	0.05	0.00017	13.01	0.37	0.00123
3.39	0.06	0.00020	13.58	0.38	0.00127
3.96	0.07	0.00023	14.14	0.4	0.00133
4.53	0.08	0.00027	14.71	0.41	0.00137
5.09	0.1	0.00033	15.27	0.42	0.00140
5.66	0.11	0.00037	15.84	0.43	0.00143
6.22	0.14	0.00047	16.40	0.44	0.00147
6.79	0.15	0.00050	16.97	0.44	0.00147
7.35	0.17	0.00057	17.54	0.45	0.00150
7.92	0.18	0.00060	18.10	0.46	0.00153
8.48	0.2	0.00067	18.67	0.47	0.00157
9.05	0.22	0.00073	19.23	0.47	0.00157
9.62	0.24	0.00080	19.80	0.48	0.00160

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 31 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton Serat B.8

Sumber : Hasil Penelitian

17. Benda Uji B.9

Tabel 60

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.9

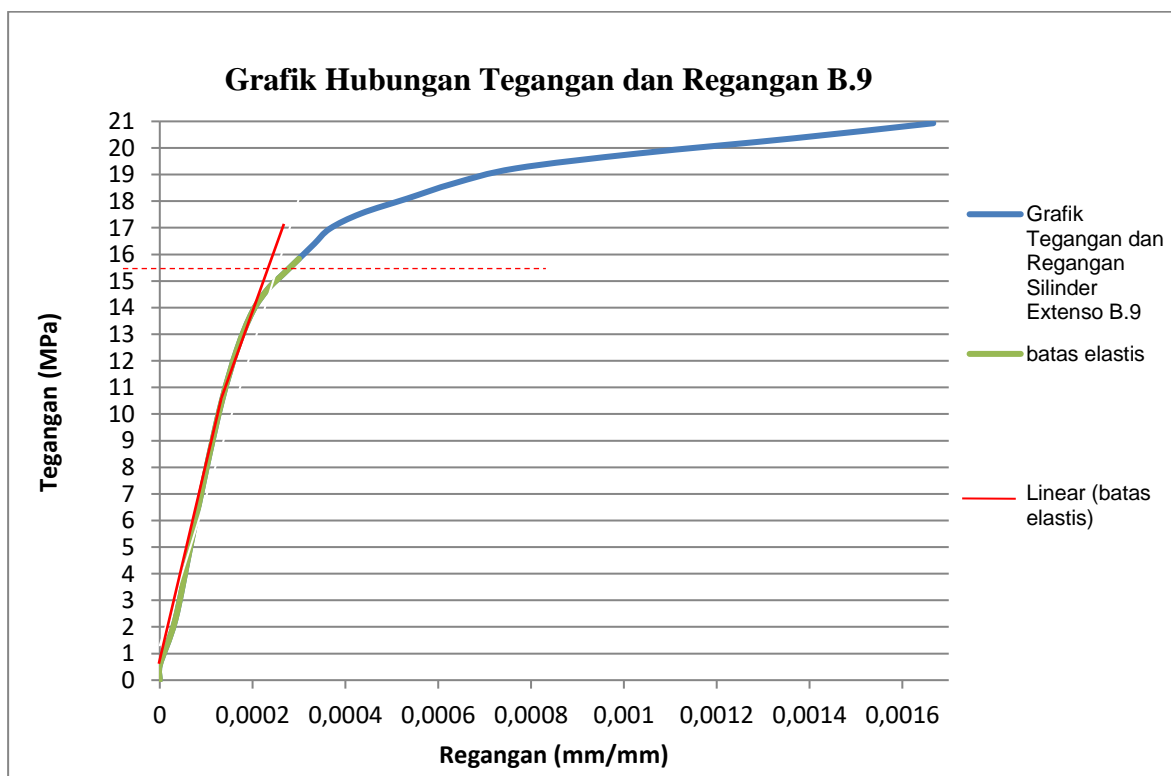
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.02	0.00007
100	5.66	0.02	0.00007
110	6.22	0.02	0.00007
120	6.79	0.03	0.00010
130	7.35	0.03	0.00010
140	7.92	0.03	0.00010
150	8.48	0.03	0.00010
160	9.05	0.03	0.00010
170	9.62	0.04	0.00013
180	10.18	0.04	0.00013
190	10.75	0.04	0.00013
200	11.31	0.04	0.00013
210	11.88	0.05	0.00017
220	12.44	0.05	0.00017
230	13.01	0.05	0.00017
240	13.58	0.06	0.00020
250	14.14	0.06	0.00020
260	14.71	0.07	0.00023
270	15.27	0.08	0.00027
280	15.84	0.09	0.00030
290	16.40	0.1	0.00033
300	16.97	0.11	0.00037
310	17.54	0.13	0.00043
320	18.10	0.16	0.00053
330	18.67	0.19	0.00063
340	19.23	0.23	0.00077
350	19.80	0.31	0.00103
360	20.36	0.41	0.00137
370	20.93	0.5	0.00167

Tabel 61

Hasil pembacaan extensometer benda uji B.9

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0.00000	15.84	0.09	0.00030
0.57	0	0.00000	16.40	0.10	0.00033
2.26	0.01	0.00003	16.97	0.11	0.00037
5.09	0.02	0.00007	17.54	0.13	0.00043
7.92	0.03	0.00010	18.10	0.16	0.00053
10.46	0.04	0.00013	18.67	0.19	0.00063
12.44	0.05	0.00017	19.23	0.23	0.00077
13.86	0.06	0.00020	19.80	0.31	0.00103
14.71	0.07	0.00023	20.36	0.41	0.00137
15.27	0.08	0.00027	20.93	0.50	0.00167

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 32 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan B.9

Sumber : Hasil Penelitian

18. Benda Uji C.2

Tabel 62

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.2

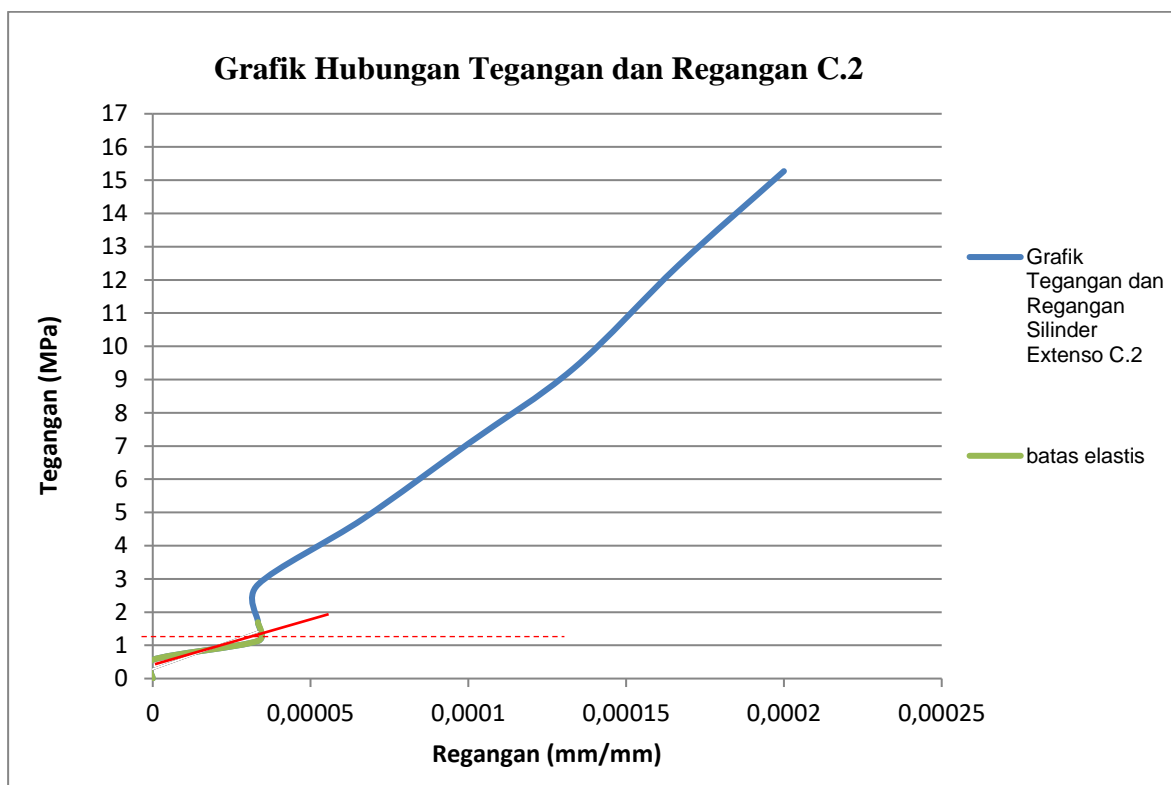
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.02	0.00007
100	5.66	0.02	0.00007
110	6.22	0.03	0.00010
120	6.79	0.03	0.00010
130	7.35	0.03	0.00010
140	7.92	0.03	0.00010
150	8.48	0.04	0.00013
160	9.05	0.04	0.00013
170	9.62	0.04	0.00013
180	10.18	0.04	0.00013
190	10.75	0.04	0.00013
200	11.31	0.05	0.00017
210	11.88	0.05	0.00017
220	12.44	0.05	0.00017
230	13.01	0.05	0.00017
240	13.58	0.05	0.00017
250	14.14	0.06	0.00020
260	14.71	0.06	0.00020
270	15.27	0.06	0.00020
280	15.84	0.06	0.00020
290	16.40	0.06	0.00020
300	16.97		-
310	17.54		-
320	18.10		-
330	18.67	retak baut	-
340	19.23		-
350	19.80		-
360	20.36		-
370	20.93		-

Tabel 63

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.2

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0
0.57	0	0.00000
1.13	0.01	0.00003
1.7	0.01	0.00003
2.83	0.01	0.00003
4.81	0.02	0.00007
7.07	0.03	0.00010
9.33	0.04	0.00013
12.44	0.05	0.00017
15.27	0.06	0.00020

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 33 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.2

Sumber : Hasil Penelitian

19. Benda Uji C.3

Tabel 64

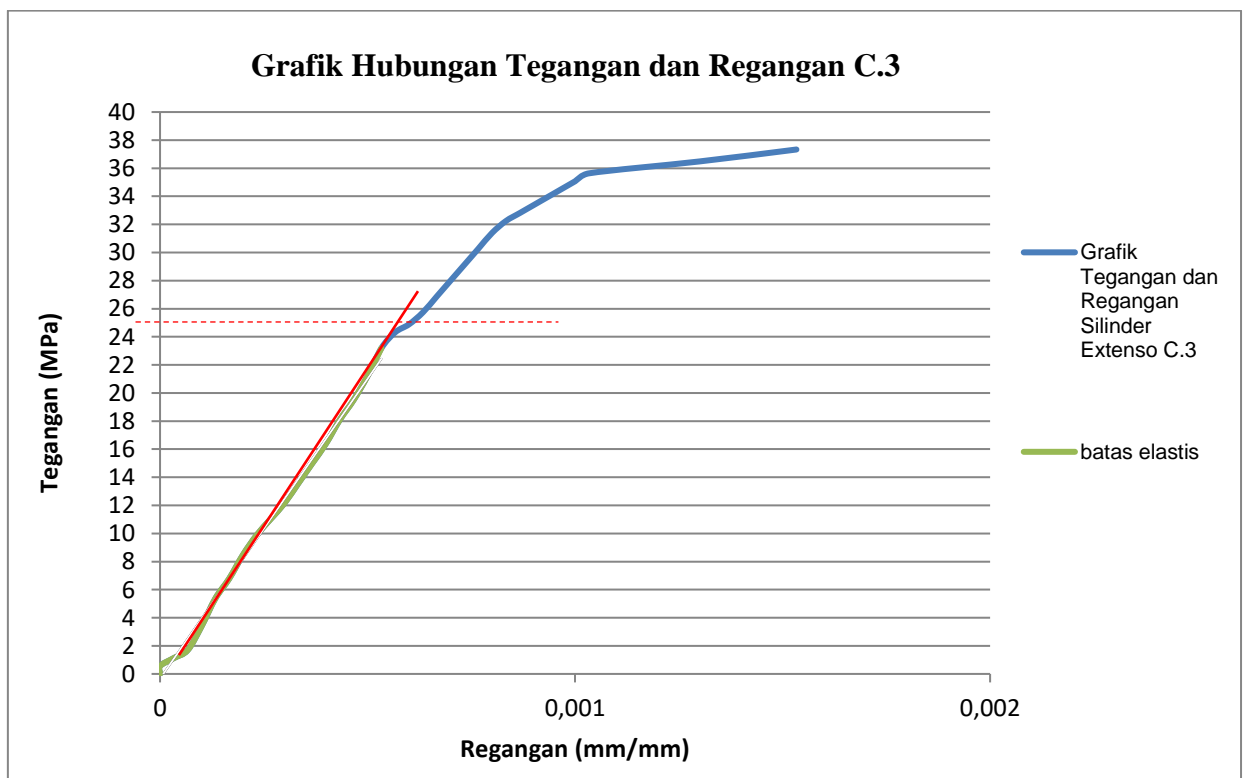
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.3

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.03	0.00010
50	2.83	0.03	0.00010
60	3.39	0.03	0.00010
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.03	0.00010
90	5.09	0.04	0.00013
100	5.66	0.04	0.00013
110	6.22	0.05	0.00017
120	6.79	0.05	0.00017
130	7.35	0.05	0.00017
140	7.92	0.06	0.00020
150	8.48	0.06	0.00020
160	9.05	0.06	0.00020
170	9.62	0.07	0.00023
180	10.18	0.07	0.00023
190	10.75	0.08	0.00027
200	11.31	0.08	0.00027
210	11.88	0.09	0.00030
220	12.44	0.09	0.00030
230	13.01	0.1	0.00033
240	13.58	0.1	0.00033
250	14.14	0.1	0.00033
260	14.71	0.11	0.00037
270	15.27	0.11	0.00037
280	15.84	0.12	0.00040
290	16.40	0.12	0.00040
300	16.97	0.12	0.00040
310	17.54	0.13	0.00043
320	18.10	0.13	0.00043
330	18.67	0.13	0.00043
340	19.23	0.14	0.00047
350	19.80	0.14	0.00047
360	20.36	0.15	0.00050

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.15	0.00050
380	21.49	0.15	0.00050
390	22.06	0.15	0.00050
400	22.63	0.16	0.00053
410	23.19	0.16	0.00053
420	23.76	0.16	0.00053
430	24.32	0.17	0.00057
440	24.89	0.18	0.00060
450	25.45	0.19	0.00063
460	26.02	0.19	0.00063
470	26.59	0.2	0.00067
480	27.15	0.2	0.00067
490	27.72	0.21	0.00070
500	28.28	0.21	0.00070
510	28.85	0.22	0.00073
520	29.41	0.22	0.00073
530	29.98	0.23	0.00077
540	30.55	0.23	0.00077
550	31.11	0.24	0.00080
560	31.68	0.24	0.00080
570	32.24	0.25	0.00083
580	32.81	0.26	0.00087
590	33.37	0.27	0.00090
600	33.94	0.28	0.00093
610	34.51	0.29	0.00097
620	35.07	0.3	0.00100
630	35.64	0.31	0.00103
640	36.20	0.39	0.00130
650	36.77	0.39	0.00130
660	37.33	0.46	0.00153

Tabel 65
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.3

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	24.32	0.17	0.00057
0.57	0	0.00000	24.89	0.18	0.00060
1.13	0.01	0.00003	25.74	0.19	0.00063
1.70	0.02	0.00007	26.87	0.2	0.00067
3.39	0.03	0.00010	28.00	0.21	0.00070
5.37	0.04	0.00013	29.13	0.22	0.00073
6.79	0.05	0.00017	30.26	0.23	0.00077
8.48	0.06	0.00020	31.39	0.24	0.00080
9.90	0.07	0.00023	32.24	0.25	0.00083
11.03	0.08	0.00027	32.81	0.26	0.00087
12.16	0.09	0.00030	33.37	0.27	0.00090
13.58	0.1	0.00033	33.94	0.28	0.00093
14.99	0.11	0.00037	34.51	0.29	0.00097
16.40	0.12	0.00040	35.07	0.3	0.00100
18.10	0.13	0.00043	35.64	0.31	0.00103
19.52	0.14	0.00047	36.48	0.39	0.00130
21.21	0.15	0.00050	37.33	0.46	0.00153
23.19	0.16	0.00053			



Gambar 34 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.3
Sumber : Hasil Penelitian

20. Benda Uji C.4

Tabel 66

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.4

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0	0.00000
30	1.70	0	0.00000
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.01	0.00003
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.02	0.00007
100	5.66	0.02	0.00007
110	6.22	0.02	0.00007
120	6.79	0.03	0.00010
130	7.35	0.03	0.00010
140	7.92	0.03	0.00010
150	8.48	0.03	0.00010
160	9.05	0.04	0.00013
170	9.62	0.04	0.00013
180	10.18	0.04	0.00013
190	10.75	0.04	0.00013
200	11.31	0.05	0.00017
210	11.88	0.05	0.00017
220	12.44	0.05	0.00017
230	13.01	0.06	0.00020
240	13.58	0.06	0.00020
250	14.14	0.06	0.00020
260	14.71	0.07	0.00023
270	15.27	0.07	0.00023
280	15.84	0.08	0.00027
290	16.40	0.08	0.00027
300	16.97	0.09	0.00030
310	17.54	0.09	0.00030
320	18.10	0.1	0.00033
330	18.67	0.1	0.00033
340	19.23	0.11	0.00037
350	19.80	0.11	0.00037
360	20.36	0.12	0.00040

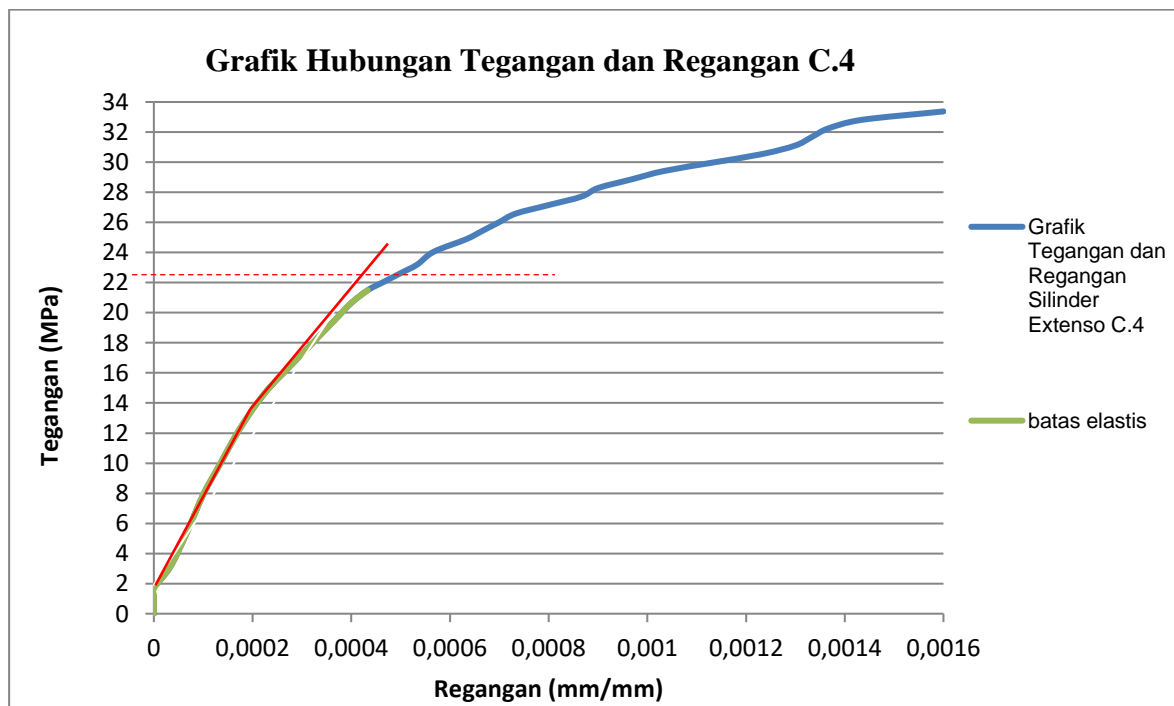
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.12	0.00040
380	21.49	0.13	0.00043
390	22.06	0.14	0.00047
400	22.63	0.15	0.00050
410	23.19	0.16	0.00053
420	23.76	0.17	0.00057
430	24.32	0.17	0.00057
440	24.89	0.19	0.00063
450	25.45	0.2	0.00067
460	26.02	0.21	0.00070
470	26.59	0.22	0.00073
480	27.15	0.24	0.00080
490	27.72	0.26	0.00087
500	28.28	0.27	0.00090
510	28.85	0.29	0.00097
520	29.41	0.31	0.00103
530	29.98	0.34	0.00113
540	30.55	0.37	0.00123
550	31.11	0.39	0.00130
560	31.68	0.4	0.00133
570	32.24	0.41	0.00137
580	32.81	0.43	0.00143
590	33.37	0.48	0.00160

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 67

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.4

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0.00000	23.19	0.16	0.00053
0.57	0	0.00000	24.04	0.17	0.00057
1.13	0	0.00000	24.89	0.19	0.00063
1.70	0	0.00000	25.45	0.2	0.00067
3.11	0.01	0.00003	26.02	0.21	0.00070
5.37	0.02	0.00007	26.59	0.22	0.00073
7.92	0.03	0.00010	27.15	0.24	0.00080
9.90	0.04	0.00013	27.72	0.26	0.00087
11.88	0.05	0.00017	28.28	0.27	0.00090
13.58	0.06	0.00020	28.85	0.29	0.00097
14.99	0.07	0.00023	29.41	0.31	0.00103
16.12	0.08	0.00027	29.98	0.34	0.00113
17.25	0.09	0.00030	30.55	0.37	0.00123
18.38	0.1	0.00033	31.11	0.39	0.00130
19.52	0.11	0.00037	31.68	0.4	0.00133
20.65	0.12	0.00040	32.24	0.41	0.00137
21.49	0.13	0.00043	32.81	0.43	0.00143
22.06	0.14	0.00047	33.37	0.48	0.00160
22.63	0.15	0.00050			



Gambar 35 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.4

Sumber : Hasil Penelitian

21. Benda Uji C.5

Tabel 68

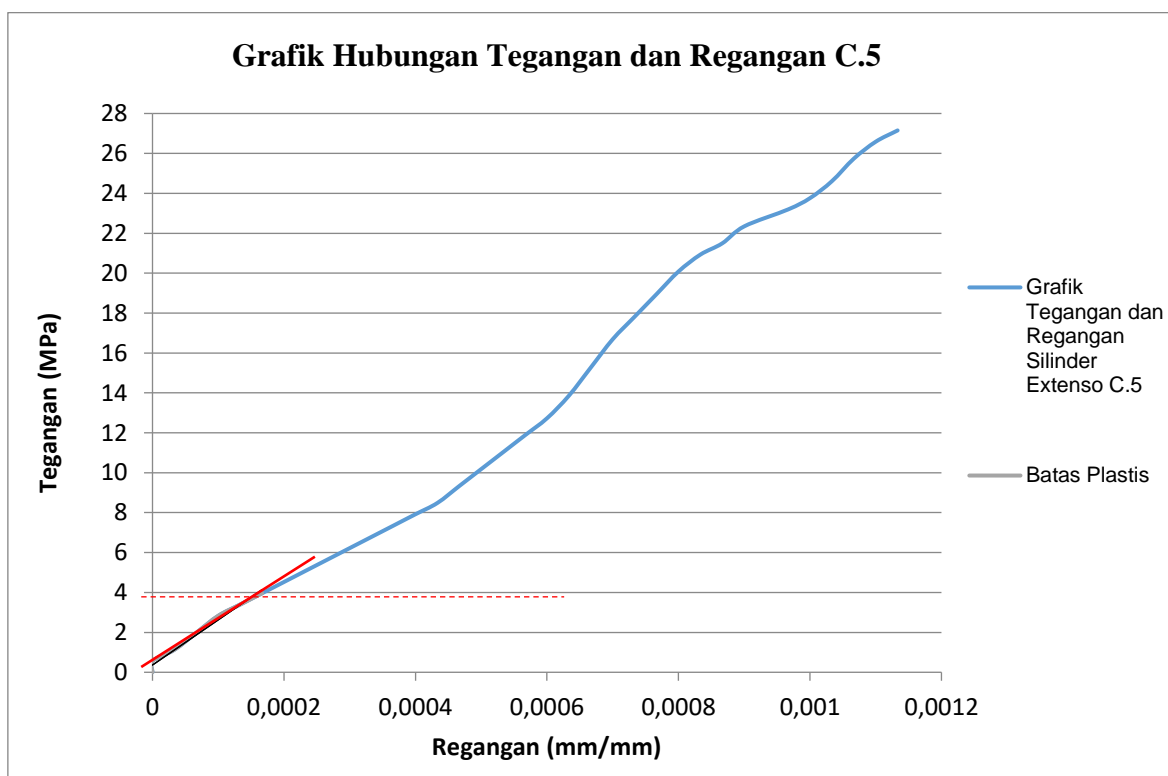
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.5

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.03	0.00010
60	3.39	0.04	0.00013
70	3.96	0.05	0.00017
80	4.53	0.06	0.00020
90	5.09	0.07	0.00023
100	5.66	0.08	0.00027
110	6.22	0.09	0.00030
120	6.79	0.1	0.00033
130	7.35	0.11	0.00037
140	7.92	0.12	0.00040
150	8.48	0.13	0.00043
160	9.05	0.14	0.00047
170	9.62	0.14	0.00047
180	10.18	0.15	0.00050
190	10.75	0.16	0.00053
200	11.31	0.16	0.00053
210	11.88	0.17	0.00057
220	12.44	0.18	0.00060
230	13.01	0.18	0.00060
240	13.58	0.19	0.00063
250	14.14	0.19	0.00063
260	14.71	0.2	0.00067
270	15.27	0.2	0.00067
280	15.84	0.2	0.00067
290	16.40	0.21	0.00070
300	16.97	0.21	0.00070
310	17.54	0.22	0.00073
320	18.10	0.22	0.00073
330	18.67	0.23	0.00077
340	19.23	0.23	0.00077
350	19.80	0.24	0.00080
360	20.36	0.24	0.00080

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.25	0.00083
380	21.49	0.26	0.00087
390	22.06	0.27	0.00090
400	22.63	0.27	0.00090
410	23.19	0.29	0.00097
420	23.76	0.3	0.00100
430	24.32	0.31	0.00103
440	24.89	0.31	0.00103
450	25.45	0.32	0.00107
460	26.02	0.32	0.00107
470	26.59	0.33	0.00110
480	27.15	0.34	0.00113
490	27.72	0.35	0.00117
500	28.28	0.36	0.00120
510	28.85	0.37	0.00123
520	29.41	0.38	0.00127
530	29.98	0.4	0.00133
540	30.55	0.42	0.00140
550	31.11	0.44	0.00147
560	31.68	0.52	0.00173

Tabel 69
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.5

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	11.879	0.17	0.00057
0.566	0	0.00000	12.727	0.18	0.00060
1.131	0.01	0.00003	13.859	0.19	0.00063
1.980	0.02	0.00007	15.273	0.20	0.00067
2.828	0.03	0.00010	16.687	0.21	0.00070
3.394	0.04	0.00013	17.818	0.22	0.00073
3.960	0.05	0.00017	18.949	0.23	0.00077
4.525	0.06	0.00020	20.081	0.24	0.00080
5.091	0.07	0.00023	20.929	0.25	0.00083
5.657	0.08	0.00027	21.495	0.26	0.00087
6.222	0.09	0.00030	22.343	0.27	0.00090
6.788	0.1	0.00033	23.192	0.29	0.00097
7.354	0.11	0.00037	23.758	0.3	0.00100
7.919	0.12	0.00040	24.606	0.31	0.00103
8.485	0.13	0.00043	25.737	0.32	0.00107
9.333	0.14	0.00047	26.586	0.33	0.00110
10.182	0.15	0.00050	27.152	0.34	0.00113
11.030	0.16	0.00053			



Gambar 36 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.5
Sumber : Hasil Penelitian

22. Benda Uji C.6

Tabel 70

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.6

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.02	0.00007
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.04	0.00013
90	5.09	0.04	0.00013
100	5.66	0.05	0.00017
110	6.22	0.05	0.00017
120	6.79	0.06	0.00020
130	7.35	0.07	0.00023
140	7.92	0.07	0.00023
150	8.48	0.08	0.00027
160	9.05	0.09	0.00030
170	9.62	0.09	0.00030
180	10.18	0.1	0.00033
190	10.75	0.11	0.00037
200	11.31	0.12	0.00040
210	11.88	0.13	0.00043
220	12.44	0.13	0.00043
230	13.01	0.14	0.00047
240	13.58	0.15	0.00050
250	14.14	0.16	0.00053
260	14.71	0.17	0.00057
270	15.27	0.18	0.00060
280	15.84	0.18	0.00060
290	16.40	0.19	0.00063
300	16.97	0.2	0.00067
310	17.54	0.21	0.00070
320	18.10	0.22	0.00073
330	18.67	0.23	0.00077
340	19.23	0.24	0.00080
350	19.80	0.25	0.00083
360	20.36	0.26	0.00087

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.26	0.00087
380	21.49	0.27	0.00090
390	22.06	0.27	0.00090
400	22.63	0.28	0.00093
410	23.19	0.28	0.00093
420	23.76	0.29	0.00097
430	24.32	0.3	0.00100
440	24.89	0.33	0.00110
450	25.45	0.35	0.00117
460	26.02	0.36	0.00120
470	26.59	0.37	0.00123
480	27.15	0.39	0.00130
490	27.72	0.39	0.00130
500	28.28	0.40	0.00133

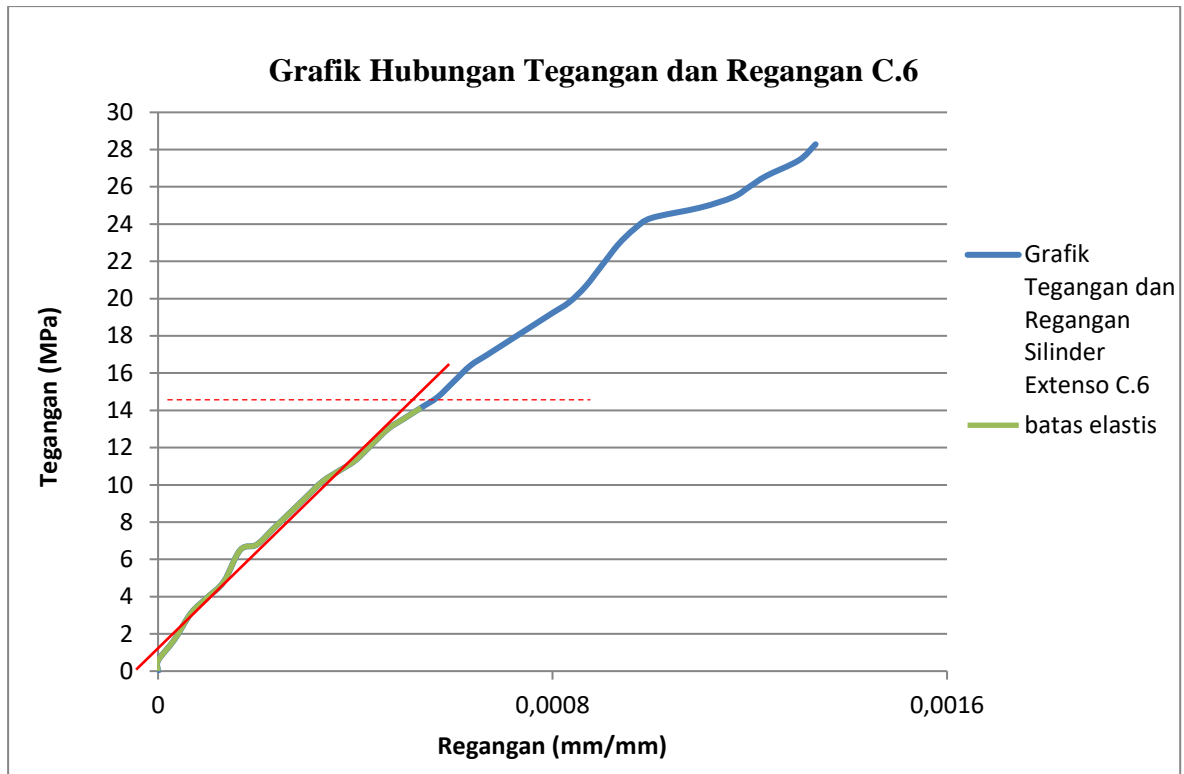
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 71

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.6

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0.00	0	0	15.56	0.18	0.00060
0.57	0	0.00000	16.40	0.19	0.00063
1.70	0.01	0.00003	16.97	0.2	0.00067
3.11	0.02	0.00007	17.54	0.21	0.00070
3.96	0.03	0.00010	18.10	0.22	0.00073
4.81	0.04	0.00013	18.67	0.23	0.00077
6.51	0.05	0.00017	19.23	0.24	0.00080
6.79	0.06	0.00020	19.80	0.25	0.00083
7.64	0.07	0.00023	20.65	0.26	0.00087
8.48	0.08	0.00027	21.78	0.27	0.00090
9.33	0.09	0.00030	22.91	0.28	0.00093
10.18	0.1	0.00033	23.76	0.29	0.00097
10.75	0.11	0.00037	24.32	0.3	0.00100
11.31	0.12	0.00040	24.89	0.33	0.00110
12.16	0.13	0.00043	25.45	0.35	0.00117
13.01	0.14	0.00047	26.02	0.36	0.00120
13.58	0.15	0.00050	26.59	0.37	0.00123
14.14	0.16	0.00053	27.43	0.39	0.00130
14.71	0.17	0.00057	28.28	0.40	0.00133

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 37 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.6

Sumber : Hasil Penelitian

23. Benda Uji C.7

Tabel 72

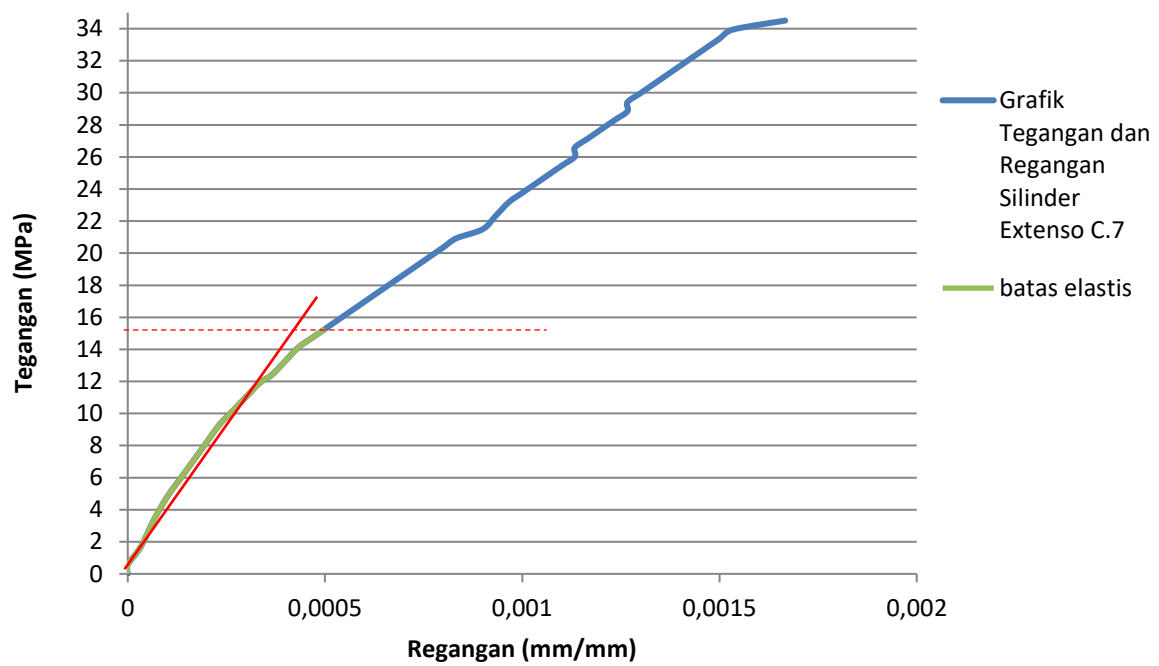
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.7

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.02	0.00007
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.03	0.00010
90	5.09	0.03	0.00010
100	5.66	0.04	0.00013
110	6.22	0.04	0.00013
120	6.79	0.05	0.00017
130	7.35	0.05	0.00017
140	7.92	0.06	0.00020
150	8.48	0.06	0.00020
160	9.05	0.07	0.00023
170	9.62	0.07	0.00023
180	10.18	0.08	0.00027
190	10.75	0.09	0.00030
200	11.31	0.09	0.00030
210	11.88	0.1	0.00033
220	12.44	0.11	0.00037
230	13.01	0.12	0.00040
240	13.58	0.12	0.00040
250	14.14	0.13	0.00043
260	14.71	0.14	0.00047
270	15.27	0.15	0.00050
280	15.84	0.16	0.00053
290	16.40	0.17	0.00057
300	16.97	0.18	0.00060
310	17.54	0.19	0.00063
320	18.10	0.2	0.00067
330	18.67	0.21	0.00070
340	19.23	0.22	0.00073
350	19.80	0.23	0.00077
360	20.36	0.24	0.00080

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.25	0.00083
380	21.49	0.27	0.00090
390	22.06	0.28	0.00093
400	22.63	0.28	0.00093
410	23.19	0.29	0.00097
420	23.76	0.3	0.00100
430	24.32	0.31	0.00103
440	24.89	0.32	0.00107
450	25.45	0.33	0.00110
460	26.02	0.34	0.00113
470	26.59	0.34	0.00113
480	27.15	0.35	0.00117
490	27.72	0.36	0.00120
500	28.28	0.37	0.00123
510	28.85	0.38	0.00127
520	29.41	0.38	0.00127
530	29.98	0.39	0.00130
540	30.55	0.4	0.00133
550	31.11	0.41	0.00137
560	31.68	0.42	0.00140
570	32.24	0.43	0.00143
580	32.81	0.44	0.00147
590	33.37	0.45	0.00150
600	33.94	0.46	0.00153
610	34.51	0.5	0.00167

Tabel 73
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.7

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	27.72	0.36	0.00120
0.57	0	0.00000	28.28	0.37	0.00123
1.70	0.01	0.00003	28.85	0.38	0.00127
3.39	0.02	0.00007	29.41	0.38	0.00127
4.81	0.03	0.00010	29.98	0.39	0.00130
5.94	0.04	0.00013	30.55	0.4	0.00133
7.07	0.05	0.00017	31.11	0.41	0.00137
8.20	0.06	0.00020	31.68	0.42	0.00140
9.33	0.07	0.00023	32.24	0.43	0.00143
10.18	0.08	0.00027	32.81	0.44	0.00147
11.03	0.09	0.00030	33.37	0.45	0.00150
11.88	0.1	0.00033	33.94	0.46	0.00153
12.44	0.11	0.00037	34.51	0.5	0.00167
13.29	0.12	0.00040			
14.14	0.13	0.00043			
14.71	0.14	0.00047			
15.27	0.15	0.00050			
15.84	0.16	0.00053			
16.40	0.17	0.00057			
16.97	0.18	0.00060			
17.54	0.19	0.00063			
18.10	0.2	0.00067			
18.67	0.21	0.00070			
19.23	0.22	0.00073			
19.80	0.23	0.00077			
20.36	0.24	0.00080			
20.93	0.25	0.00083			
21.49	0.27	0.00090			
22.34	0.28	0.00093			
23.19	0.29	0.00097			
23.76	0.3	0.00100			
24.32	0.31	0.00103			
24.89	0.32	0.00107			
25.45	0.33	0.00110			
26.02	0.34	0.00113			
26.59	0.34	0.00113			
27.15	0.35	0.00117			

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan C.7

Gambar 38 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.7
Sumber : Hasil Penelitian

24. Benda Uji C.8

Tabel 74

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.8

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0	0.00000
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.02	0.00007
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.02	0.00007
100	5.66	0.02	0.00007
110	6.22	0.03	0.00010
120	6.79	0.03	0.00010
130	7.35	0.03	0.00010
140	7.92	0.03	0.00010
150	8.48	0.03	0.00010
160	9.05	0.04	0.00013
170	9.62	0.04	0.00013
180	10.18	0.04	0.00013
190	10.75	0.04	0.00013
200	11.31	0.04	0.00013
210	11.88	0.05	0.00017
220	12.44	0.05	0.00017
230	13.01	0.05	0.00017
240	13.58	0.05	0.00017
250	14.14	0.05	0.00017
260	14.71	0.06	0.00020
270	15.27	0.06	0.00020
280	15.84	0.06	0.00020
290	16.40	0.06	0.00020
300	16.97	0.07	0.00023
310	17.54	0.07	0.00023
320	18.10	0.07	0.00023
330	18.67	0.07	0.00023
340	19.23	0.08	0.00027
350	19.80	0.08	0.00027
360	20.36	0.08	0.00027

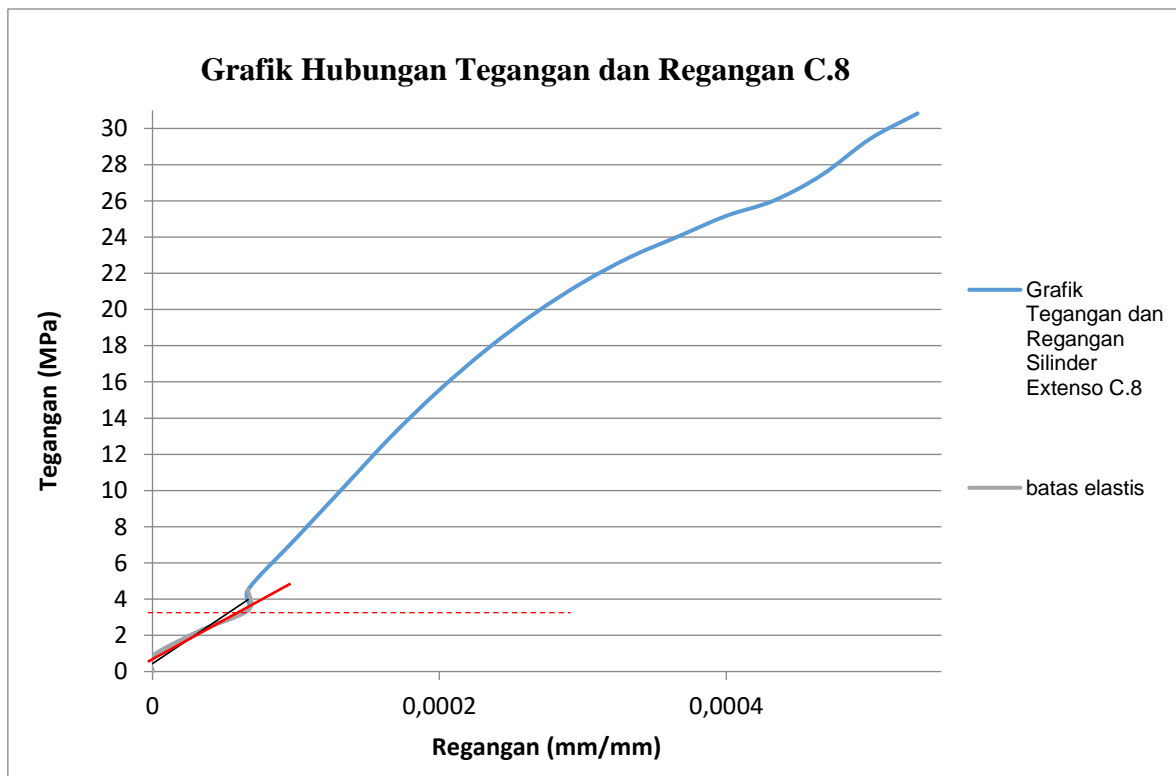
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.09	0.00030
380	21.49	0.09	0.00030
390	22.06	0.09	0.00030
400	22.63	0.1	0.00033
410	23.19	0.1	0.00033
420	23.76	0.11	0.00037
430	24.32	0.11	0.00037
440	24.89	0.12	0.00040
450	25.45	0.12	0.00040
460	26.02	0.13	0.00043
470	26.59	0.14	0.00047
480	27.15	0.14	0.00047
490	27.72	0.14	0.00047
500	28.28	0.14	0.00047
510	28.85	0.15	0.00050
520	29.41	0.15	0.00050
530	29.98	0.15	0.00050
540	30.55	0.16	0.00053
550	31.11	0.16	0.00053

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 75
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.8

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	19.80	0.08	0.00027
0.57	0.00	0.00000	21.49	0.09	0.00030
1.13	0.00	0.00000	22.91	0.1	0.00033
1.70	0.01	0.00003	24.04	0.11	0.00037
2.26	0.01	0.00003	25.17	0.12	0.00040
4.53	0.02	0.00007	26.02	0.13	0.00043
7.35	0.03	0.00010	27.43	0.14	0.00047
10.18	0.04	0.00013	29.41	0.15	0.00050
13.01	0.05	0.00017	30.83	0.16	0.00053
15.56	0.06	0.00020			
17.82	0.07	0.00023			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 39 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.8

Sumber : Hasil Penelitian

25. Benda Uji C.9

Tabel 76

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.9

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.02	0.00007
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.03	0.00010
100	5.66	0.03	0.00010
110	6.22	0.03	0.00010
120	6.79	0.04	0.00013
130	7.35	0.04	0.00013
140	7.92	0.04	0.00013
150	8.48	0.04	0.00013
160	9.05	0.05	0.00017
170	9.62	0.05	0.00017
180	10.18	0.05	0.00017
190	10.75	0.06	0.00020
200	11.31	0.06	0.00020
210	11.88	0.06	0.00020
220	12.44	0.06	0.00020
230	13.01	0.07	0.00023
240	13.58	0.07	0.00023
250	14.14	0.07	0.00023
260	14.71	0.08	0.00027
270	15.27	0.08	0.00027
280	15.84	0.08	0.00027
290	16.40	0.09	0.00030
300	16.97	0.09	0.00030
310	17.54	0.09	0.00030
320	18.10	0.09	0.00030
330	18.67	0.1	0.00033
340	19.23	0.1	0.00033

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
350	19.80	0.1	0.00033
360	20.36	0.11	0.00037
370	20.93	0.11	0.00037
380	21.49	0.11	0.00037
390	22.06	0.12	0.00040
400	22.63	0.12	0.00040
410	23.19	0.12	0.00040
420	23.76	0.13	0.00043
430	24.32	0.13	0.00043
440	24.89	0.13	0.00043
450	25.45	0.13	0.00043
460	26.02	0.14	0.00047
470	26.59	0.14	0.00047
480	27.15	0.14	0.00047
490	27.72	0.14	0.00047
500	28.28	0.14	0.00047
510	28.85	0.15	0.00050

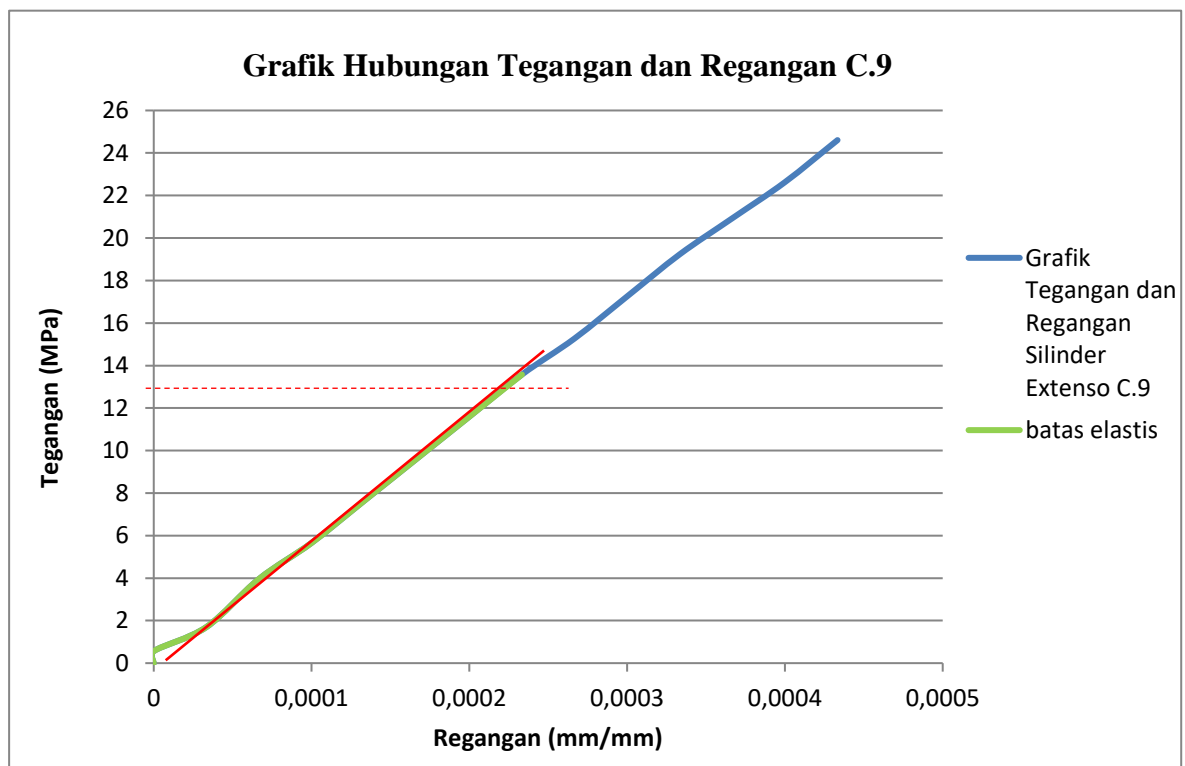
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 77

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.9

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	13.58	0.07	0.00023
0.57	0	0.00000	15.27	0.08	0.00027
1.70	0.01	0.00003	17.25	0.09	0.00030
2.83	0.02	0.00007	19.23	0.1	0.00033
3.96	0.02	0.00007	20.93	0.11	0.00037
5.66	0.03	0.00010	22.63	0.12	0.00040
7.64	0.04	0.00013	24.61	0.13	0.00043
9.62	0.05	0.00017	27.15	0.14	0.00047
11.60	0.06	0.00020	28.85	0.15	0.00050

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 40 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.9

Sumber : Hasil Penelitian

26. Benda Uji D.2

Tabel 78

Hasil pembacaan extensometer benda uji D.2

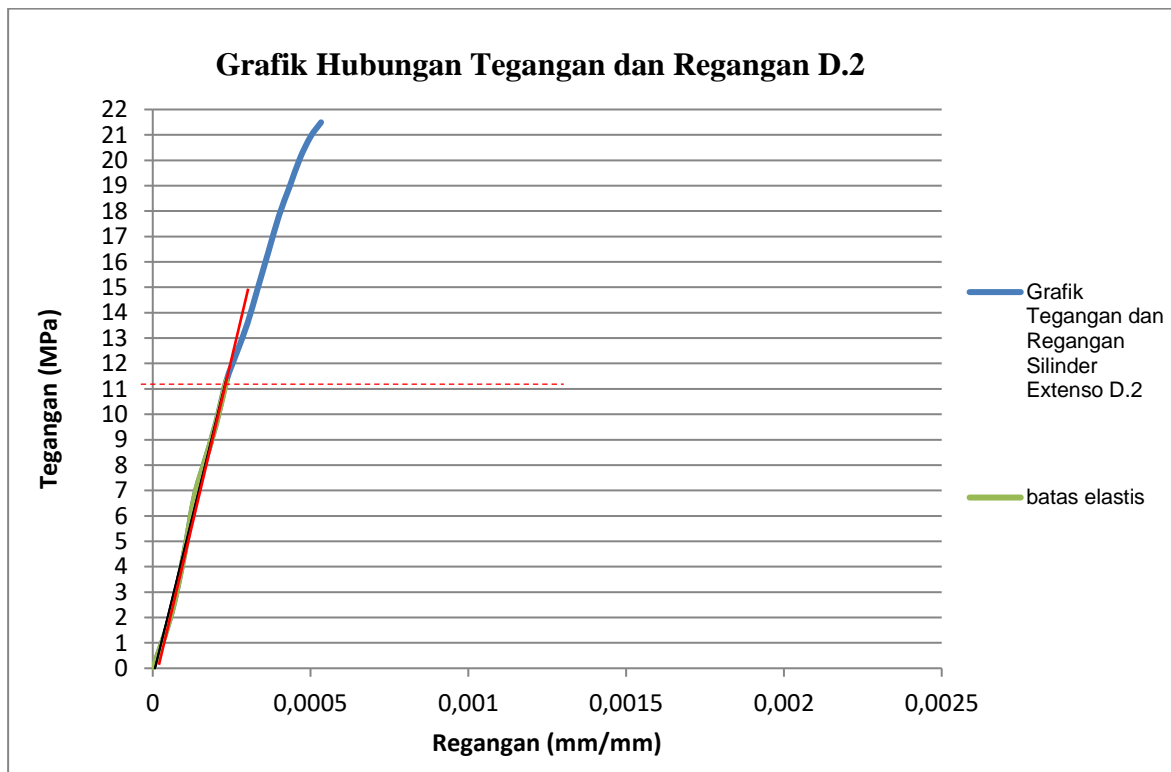
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0.01	0.00003
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.03	0.00010
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.03	0.00010
90	5.09	0.03	0.00010
100	5.66	0.03	0.00010
110	6.22	0.04	0.00013
120	6.79	0.04	0.00013
130	7.35	0.04	0.00013
140	7.92	0.05	0.00017
150	8.48	0.05	0.00017
160	9.05	0.06	0.00020
170	9.62	0.06	0.00020
180	10.18	0.06	0.00020
190	10.75	0.07	0.00023
200	11.31	0.07	0.00023
210	11.88	0.07	0.00023
220	12.44	0.08	0.00027
230	13.01	0.09	0.00030
240	13.58	0.09	0.00030
250	14.14	0.09	0.00030
260	14.71	0.1	0.00033
270	15.27	0.1	0.00033
280	15.84	0.11	0.00037
290	16.40	0.11	0.00037
300	16.97	0.11	0.00037
310	17.54	0.12	0.00040
320	18.10	0.12	0.00040
330	18.67	0.13	0.00043
340	19.23	0.13	0.00043
350	19.80	0.14	0.00047
360	20.36	0.14	0.00047
370	20.93	0.15	0.00050
380	21.49	0.16	0.00053

Tabel 79

Hasil pembacaan extensometer benda uji C.8

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	13.58	0.09	0.00030
1.13	0.01	0.00003	14.99	0.1	0.00033
2.55	0.02	0.00007	16.40	0.11	0.00037
4.53	0.03	0.00010	17.82	0.12	0.00040
6.79	0.04	0.00013	18.95	0.13	0.00043
8.20	0.05	0.00017	20.08	0.14	0.00047
9.62	0.06	0.00020	20.93	0.15	0.00050
11.31	0.07	0.00023	21.49	0.16	0.00053
12.44	0.08	0.00027			

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 41 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton D.2

Sumber : Hasil Penelitian

27. Benda Uji D.3

Tabel 80

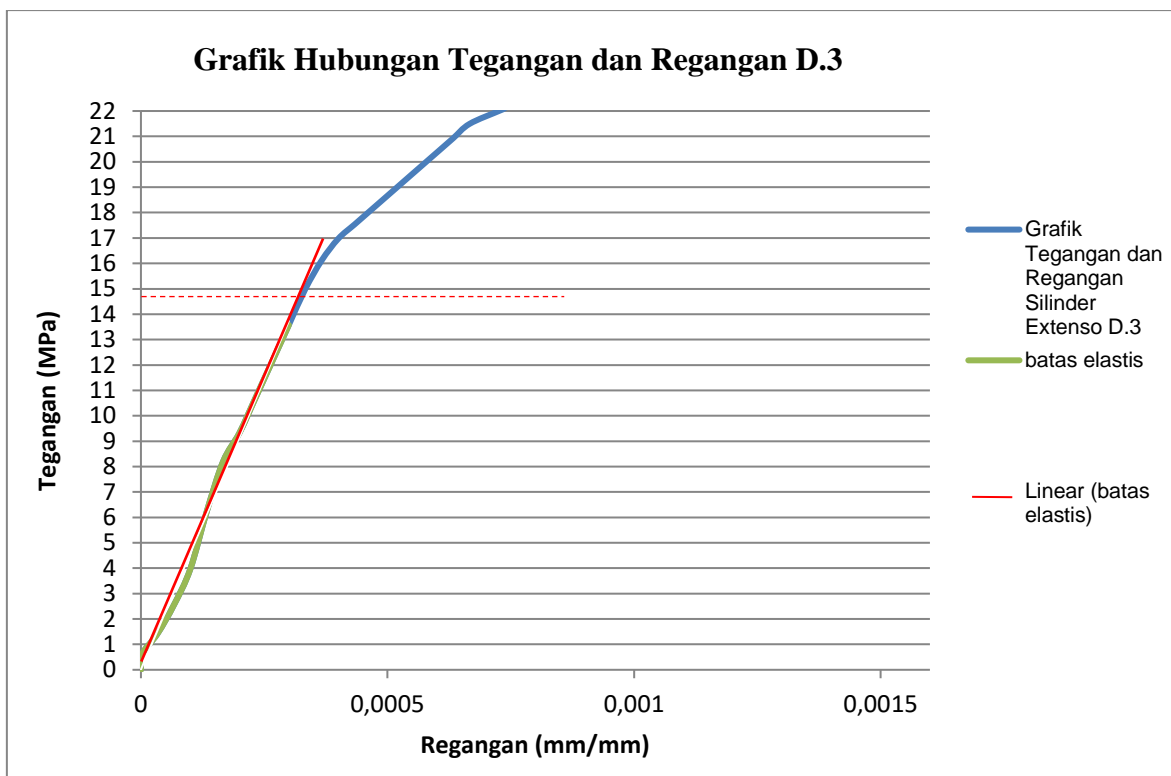
Hasil pembacaan extensometer benda uji D.3

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.02	0.00007
50	2.83	0.02	0.00007
60	3.39	0.03	0.00010
70	3.96	0.03	0.00010
80	4.53	0.03	0.00010
90	5.09	0.04	0.00013
100	5.66	0.04	0.00013
110	6.22	0.04	0.00013
120	6.79	0.04	0.00013
130	7.35	0.04	0.00013
140	7.92	0.05	0.00017
150	8.48	0.05	0.00017
160	9.05	0.06	0.00020
170	9.62	0.06	0.00020
180	10.18	0.07	0.00023
190	10.75	0.07	0.00023
200	11.31	0.07	0.00023
210	11.88	0.08	0.00027
220	12.44	0.08	0.00027
230	13.01	0.09	0.00030
240	13.58	0.09	0.00030
250	14.14	0.09	0.00030
260	14.71	0.1	0.00033
270	15.27	0.1	0.00033
280	15.84	0.11	0.00037
290	16.40	0.11	0.00037
300	16.97	0.12	0.00040
310	17.54	0.13	0.00043
320	18.10	0.14	0.00047
330	18.67	0.15	0.00050
340	19.23	0.16	0.00053
350	19.80	0.17	0.00057
360	20.36	0.18	0.00060

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.19	0.00063
380	21.49	0.2	0.00067
390	22.06	0.22	0.00073
400	22.63	0.24	0.00080
410	23.19	0.4	0.00133
420	23.76	0.45	0.00150

Tabel 81
Hasil pembacaan extensometer benda uji D.3

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0
0.57	0	0.00000
1.41	0.01	0.00003
2.55	0.02	0.00007
3.96	0.03	0.00010
6.22	0.04	0.00013
8.20	0.05	0.00017
9.33	0.06	0.00020
10.75	0.07	0.00023
12.16	0.08	0.00027
13.58	0.09	0.00030
14.99	0.1	0.00033
16.12	0.11	0.00037
16.97	0.12	0.00040
17.54	0.13	0.00043
18.10	0.14	0.00047
18.67	0.15	0.00050
19.23	0.16	0.00053
19.80	0.17	0.00057
20.36	0.18	0.00060
20.93	0.19	0.00063
21.49	0.2	0.00067
22.06	0.22	0.00073
22.63	0.24	0.00080
23.19	0.4	0.00133
23.76	0.45	0.00150



Gambar 42 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton D.3
Sumber : Hasil Penelitian

28. Benda Uji D.4

Tabel 82

Hasil pembacaan extensometer benda uji D.4

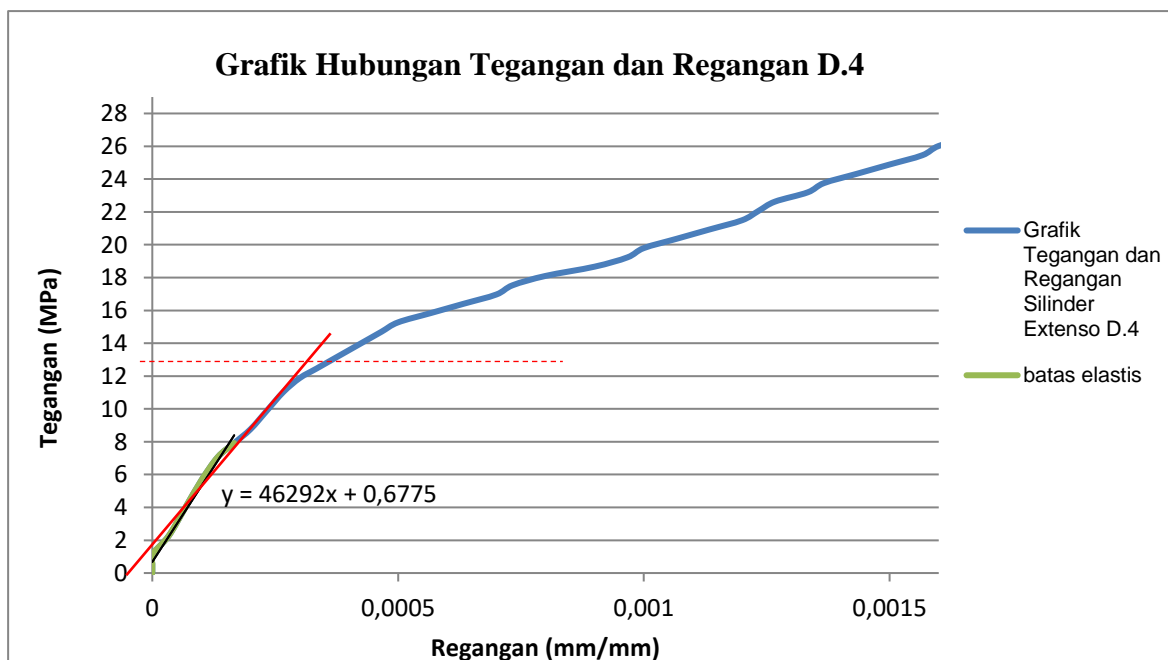
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0	0.00000
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.02	0.00007
70	3.96	0.02	0.00007
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.03	0.00010
100	5.66	0.03	0.00010
110	6.22	0.03	0.00010
120	6.79	0.04	0.00013
130	7.35	0.04	0.00013
140	7.92	0.05	0.00017
150	8.48	0.06	0.00020
160	9.05	0.06	0.00020
170	9.62	0.07	0.00023
180	10.18	0.07	0.00023
190	10.75	0.08	0.00027
200	11.31	0.08	0.00027
210	11.88	0.09	0.00030
220	12.44	0.1	0.00033
230	13.01	0.11	0.00037
240	13.58	0.12	0.00040
250	14.14	0.13	0.00043
260	14.71	0.14	0.00047
270	15.27	0.15	0.00050
280	15.84	0.17	0.00057
290	16.40	0.19	0.00063
300	16.97	0.21	0.00070
310	17.54	0.22	0.00073
320	18.10	0.24	0.00080
330	18.67	0.27	0.00090
340	19.23	0.29	0.00097
350	19.80	0.3	0.00100
360	20.36	0.32	0.00107

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.34	0.00113
380	21.49	0.36	0.00120
390	22.06	0.37	0.00123
400	22.63	0.38	0.00127
410	23.19	0.4	0.00133
420	23.76	0.41	0.00137
430	24.32	0.43	0.00143
440	24.89	0.45	0.00150
450	25.45	0.47	0.00157
460	26.02	0.48	0.00160
470	26.59	0.5	0.00167
480	27.15	0.52	0.00173
490	27.72	0.55	0.00183
500	28.28	0.62	0.00207

Tabel 83

Hasil pembacaan extensometer benda uji D.4

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	17.54	0.22	0.00073
0.57	0	0.00000	18.10	0.24	0.00080
1.13	0	0.00000	18.67	0.27	0.00090
2.26	0.01	0.00003	19.23	0.29	0.00097
3.96	0.02	0.00007	19.80	0.3	0.00100
5.66	0.03	0.00010	20.36	0.32	0.00107
7.07	0.04	0.00013	20.93	0.34	0.00113
7.92	0.05	0.00017	21.49	0.36	0.00120
8.77	0.06	0.00020	22.06	0.37	0.00123
9.90	0.07	0.00023	22.63	0.38	0.00127
11.03	0.08	0.00027	23.19	0.4	0.00133
11.88	0.09	0.00030	23.76	0.41	0.00137
12.44	0.1	0.00033	24.32	0.43	0.00143
13.01	0.11	0.00037	24.89	0.45	0.00150
13.58	0.12	0.00040	25.45	0.47	0.00157
14.14	0.13	0.00043	26.02	0.48	0.00160
14.71	0.14	0.00047	26.59	0.5	0.00167
15.27	0.15	0.00050	27.15	0.52	0.00173
15.84	0.17	0.00057	27.72	0.55	0.00183
16.40	0.19	0.00063	28.28	0.62	0.00207
16.97	0.21	0.00070			



Gambar 43 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton D.4

Sumber : Hasil Penelitian

29. Benda Uji D.6

Tabel 84

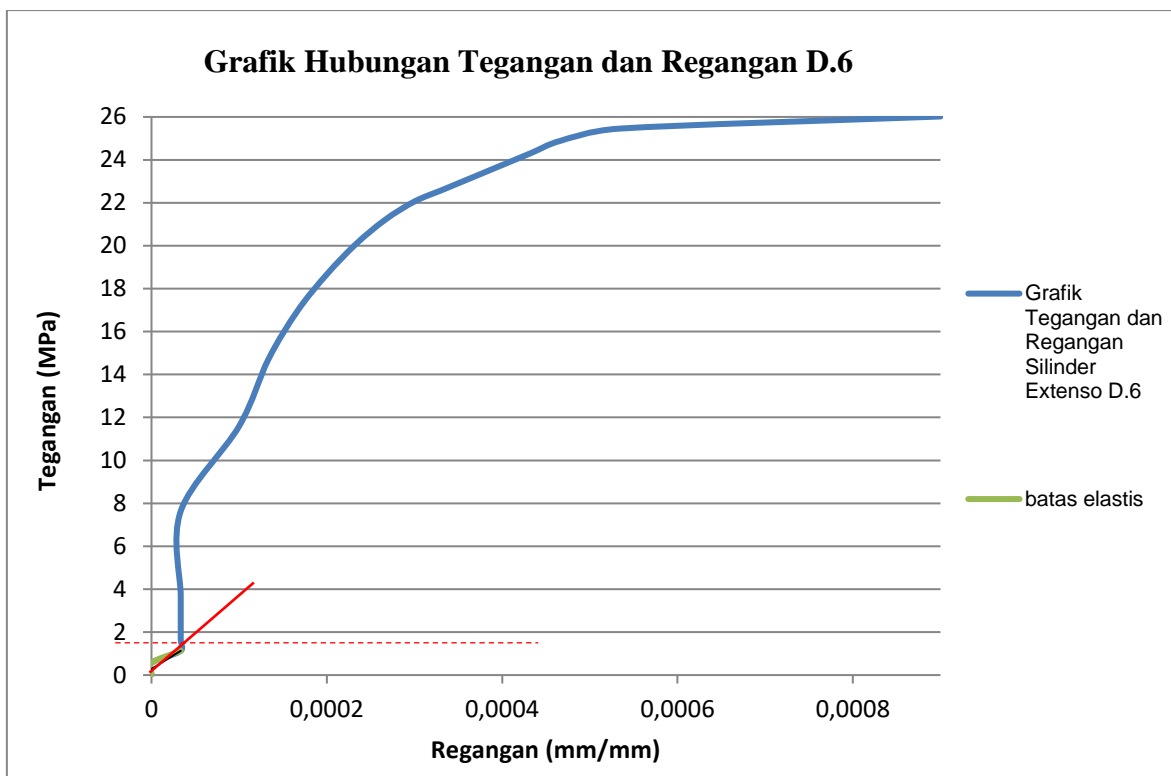
Hasil pembacaan extensometer benda uji D.6

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.01	0.00003
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.01	0.00003
80	4.53	0.01	0.00003
90	5.09	0.01	0.00003
100	5.66	0.02	0.00007
110	6.22	0.02	0.00007
120	6.79	0.02	0.00007
130	7.35	0.02	0.00007
140	7.92	0.02	0.00007
150	8.48	0.02	0.00007
160	9.05	0.02	0.00007
170	9.62	0.02	0.00007
180	10.18	0.03	0.00010
190	10.75	0.03	0.00010
200	11.31	0.03	0.00010
210	11.88	0.03	0.00010
220	12.44	0.03	0.00010
230	13.01	0.03	0.00010
240	13.58	0.04	0.00013
250	14.14	0.04	0.00013
260	14.71	0.04	0.00013
270	15.27	0.04	0.00013
280	15.84	0.04	0.00013
290	16.40	0.05	0.00017
300	16.97	0.05	0.00017
310	17.54	0.05	0.00017
320	18.10	0.06	0.00020
330	18.67	0.06	0.00020
340	19.23	0.06	0.00020
350	19.80	0.07	0.00023
360	20.36	0.07	0.00023

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.08	0.00027
380	21.49	0.08	0.00027
390	22.06	0.09	0.00030
400	22.63	0.1	0.00033
410	23.19	0.11	0.00037
420	23.76	0.12	0.00040
430	24.32	0.13	0.00043
440	24.89	0.14	0.00047
450	25.45	0.16	0.00053
460	26.02	0.27	0.00090

Tabel 85
Hasil pembacaan extensometer benda uji C.8

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0
0.57	0	0.00000
1.13	0.01	0.00003
1.70	0.01	0.00003
3.68	0.01	0.00003
7.64	0.02	0.00003
11.60	0.03	0.00010
14.71	0.04	0.00013
16.97	0.05	0.00017
18.67	0.06	0.00020
20.08	0.07	0.00023
21.21	0.08	0.00027
22.06	0.09	0.00030
22.63	0.10	0.00033
23.19	0.11	0.00037
23.76	0.12	0.00040
24.32	0.13	0.00043
24.89	0.14	0.00047
25.45	0.16	0.00053
26.02	0.27	0.00090



Gambar 44 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton D.6
 Sumber : Hasil Penelitian

30. Benda Uji D.7

Tabel 86

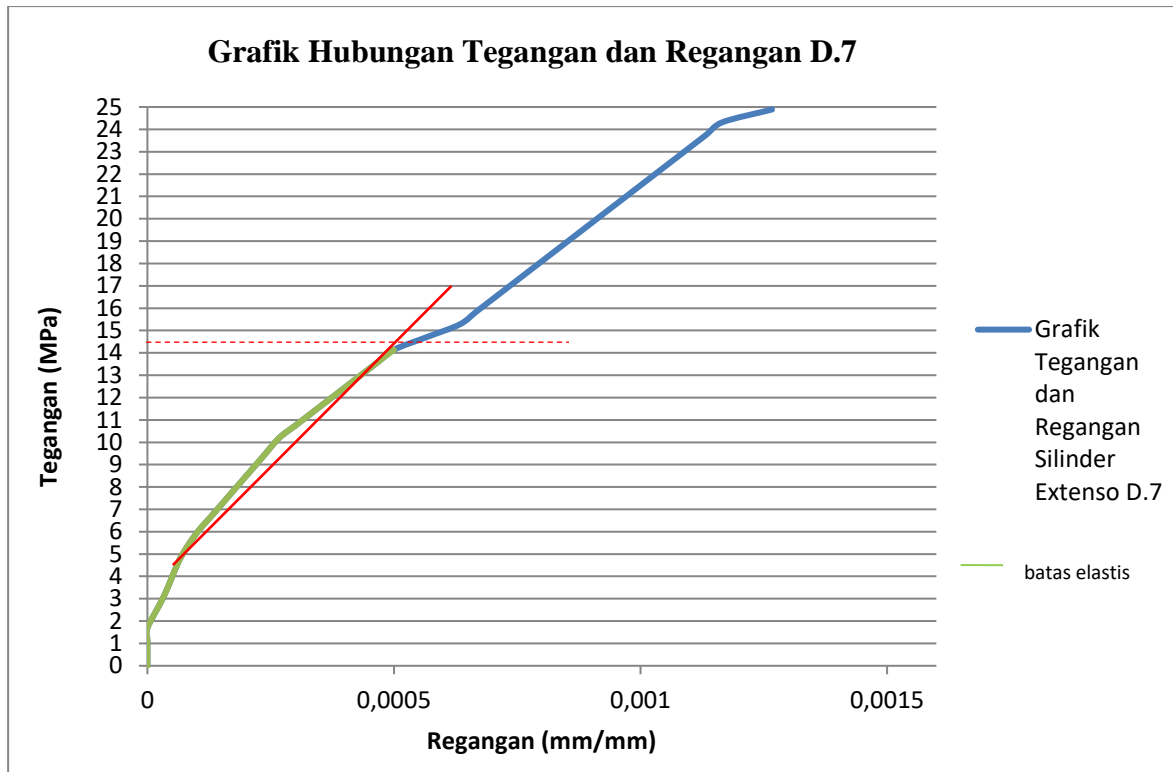
Hasil pembacaan extensometer benda uji D.7

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0	0.00000
30	1.70	0	0.00000
40	2.26	0.01	0.00003
50	2.83	0.01	0.00003
60	3.39	0.01	0.00003
70	3.96	0.01	0.00003
80	4.53	0.02	0.00007
90	5.09	0.02	0.00007
100	5.66	0.03	0.00010
110	6.22	0.03	0.00010
120	6.79	0.04	0.00013
130	7.35	0.05	0.00017
140	7.92	0.05	0.00017
150	8.48	0.06	0.00020
160	9.05	0.07	0.00023
170	9.62	0.07	0.00023
180	10.18	0.08	0.00027
190	10.75	0.09	0.00030
200	11.31	0.1	0.00033
210	11.88	0.11	0.00037
220	12.44	0.12	0.00040
230	13.01	0.13	0.00043
240	13.58	0.14	0.00047
250	14.14	0.15	0.00050
260	14.71	0.17	0.00057
270	15.27	0.19	0.00063
280	15.84	0.2	0.00067
290	16.40	0.21	0.00070
300	16.97	0.22	0.00073
310	17.54	0.23	0.00077
320	18.10	0.24	0.00080
330	18.67	0.25	0.00083
340	19.23	0.26	0.00087
350	19.80	0.27	0.00090
360	20.36	0.28	0.00093

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
370	20.93	0.29	0.00097
380	21.49	0.3	0.00100
390	22.06	0.31	0.00103
400	22.63	0.32	0.00107
410	23.19	0.33	0.00110
420	23.76	0.34	0.00113
430	24.32	0.35	0.00117
440	24.89	0.38	0.00127

Tabel 87
Hasil pembacaan extensometer benda uji D.7

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	14.71	0.17	0.00057
0.57	0	0.00000	15.27	0.19	0.00063
1.13	0	0.00000	15.84	0.2	0.00067
1.70	0	0.00000	16.40	0.21	0.00070
3.11	0.01	0.00003	16.97	0.22	0.00073
4.81	0.02	0.00007	17.54	0.23	0.00077
5.94	0.03	0.00010	18.10	0.24	0.00080
6.79	0.04	0.00013	18.67	0.25	0.00083
7.64	0.05	0.00017	19.23	0.26	0.00087
8.48	0.06	0.00020	19.80	0.27	0.00090
9.33	0.07	0.00023	20.36	0.28	0.00093
10.18	0.08	0.00027	20.93	0.29	0.00097
10.75	0.09	0.00030	21.49	0.3	0.00100
11.31	0.1	0.00033	22.06	0.31	0.00103
11.88	0.11	0.00037	22.63	0.32	0.00107
12.44	0.12	0.00040	23.19	0.33	0.00110
13.01	0.13	0.00043	23.76	0.34	0.00113
13.58	0.14	0.00047	24.32	0.35	0.00117
14.14	0.15	0.00050	24.89	0.38	0.00127



Gambar 45 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton D.7

Sumber : Hasil Penelitian

31. Benda Uji D.8

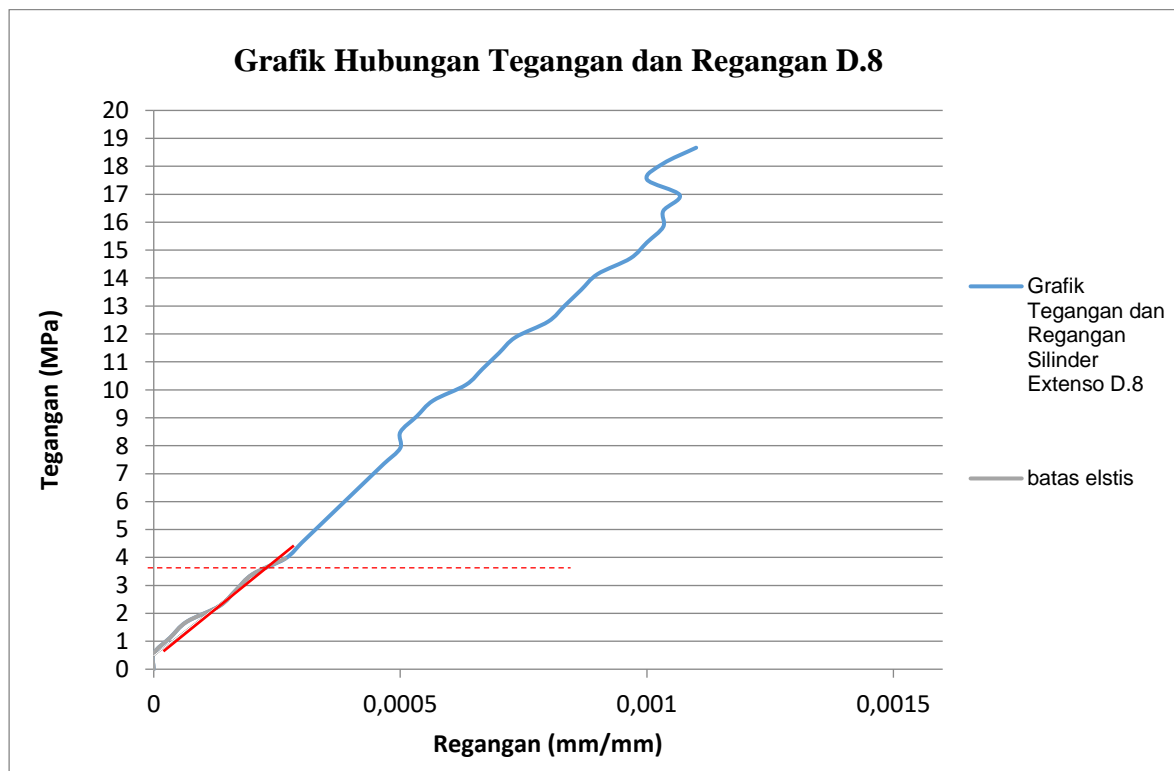
Tabel 88

Hasil pembacaan extensometer benda uji D.8

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0.00	0	0
10	0.57	0	0.00000
20	1.13	0.01	0.00003
30	1.70	0.02	0.00007
40	2.26	0.04	0.00013
50	2.83	0.05	0.00017
60	3.39	0.06	0.00020
70	3.96	0.08	0.00027
80	4.53	0.09	0.00030
90	5.09	0.1	0.00033
100	5.66	0.11	0.00037
110	6.22	0.12	0.00040
120	6.79	0.13	0.00043
130	7.35	0.14	0.00047
140	7.92	0.15	0.00050
150	8.48	0.15	0.00050
160	9.05	0.16	0.00053
170	9.62	0.17	0.00057
180	10.18	0.19	0.00063
190	10.75	0.2	0.00067
200	11.31	0.21	0.00070
210	11.88	0.22	0.00073
220	12.44	0.24	0.00080
230	13.01	0.25	0.00083
240	13.58	0.26	0.00087
250	14.14	0.27	0.00090
260	14.71	0.29	0.00097
270	15.27	0.3	0.00100
280	15.84	0.31	0.00103
290	16.40	0.31	0.00103
300	16.97	0.32	0.00107
310	17.54	0.3	0.00100
320	18.10	0.31	0.00103
330	18.67	0.33	0.00110

Tabel 89
Hasil pembacaan extensometer benda uji D.8

TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)	TEGANGAN (MPa)	ΔL (mm)	Regangan, $\Delta L/L$ (mm/mm)
0	0	0	9.62	0.17	0.00057
0.57	0	0.00000	10.18	0.19	0.00063
1.13	0.01	0.00003	10.75	0.2	0.00067
1.70	0.02	0.00007	11.31	0.21	0.00070
2.26	0.04	0.00013	11.88	0.22	0.00073
2.83	0.05	0.00017	12.44	0.24	0.00080
3.39	0.06	0.00020	13.01	0.25	0.00083
3.96	0.08	0.00027	13.58	0.26	0.00087
4.53	0.09	0.00030	14.14	0.27	0.00090
5.09	0.1	0.00033	14.71	0.29	0.00097
5.66	0.11	0.00037	15.27	0.3	0.00100
6.22	0.12	0.00040	15.84	0.31	0.00103
6.79	0.13	0.00043	16.40	0.31	0.00103
7.35	0.14	0.00047	16.97	0.32	0.00107
7.92	0.15	0.00050	17.54	0.3	0.00100
8.48	0.15	0.00050	18.10	0.31	0.00103
9.05	0.16	0.00053	18.67	0.33	0.00110



Gambar 46 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton D.8
Sumber : Hasil Penelitian

Lampiran 6. Hasil Uji Modulus Elastisitas Menggunakan *Strain Gauge*

Pada penelitian ini, uji modulus elastisitas menggunakan *strain gauge* sebagai data perbandingan dari *extensometer*

1. Benda Uji A.1

Tabel 90

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.1

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	294	0	0
10	0.57	294	0	0.00000
20	1.13	271	23	0.00002
30	1.70	256	38	0.00004
40	2.26	239	55	0.00006
50	2.83	224	70	0.00007
60	3.39	204	90	0.00009
70	3.96	191	103	0.00010
80	4.53	169	125	0.00013
90	5.09	146	148	0.00015
100	5.66	125	169	0.00017
110	6.22	102	192	0.00019
120	6.79	78	216	0.00022
130	7.35	50	244	0.00024
140	7.92	23	271	0.00027
150	8.48	-6	300	0.00030
160	9.05	-38	332	0.00033
170	9.62	-79	373	0.00037
180	10.18	-113	407	0.00041
190	10.75	-158	452	0.00045
200	11.31	-207	501	0.00050
210	11.88	-269	563	0.00056
220	12.44	-353	647	0.00065
230	13.01	-458	752	0.00075
240	13.58	-637	931	0.00093
250	14.14	-776	1070	0.00107
260	14.71	-1026	1320	0.00132
270	15.27	-1351	1645	0.00165
280	15.84	-1776	2070	0.00207

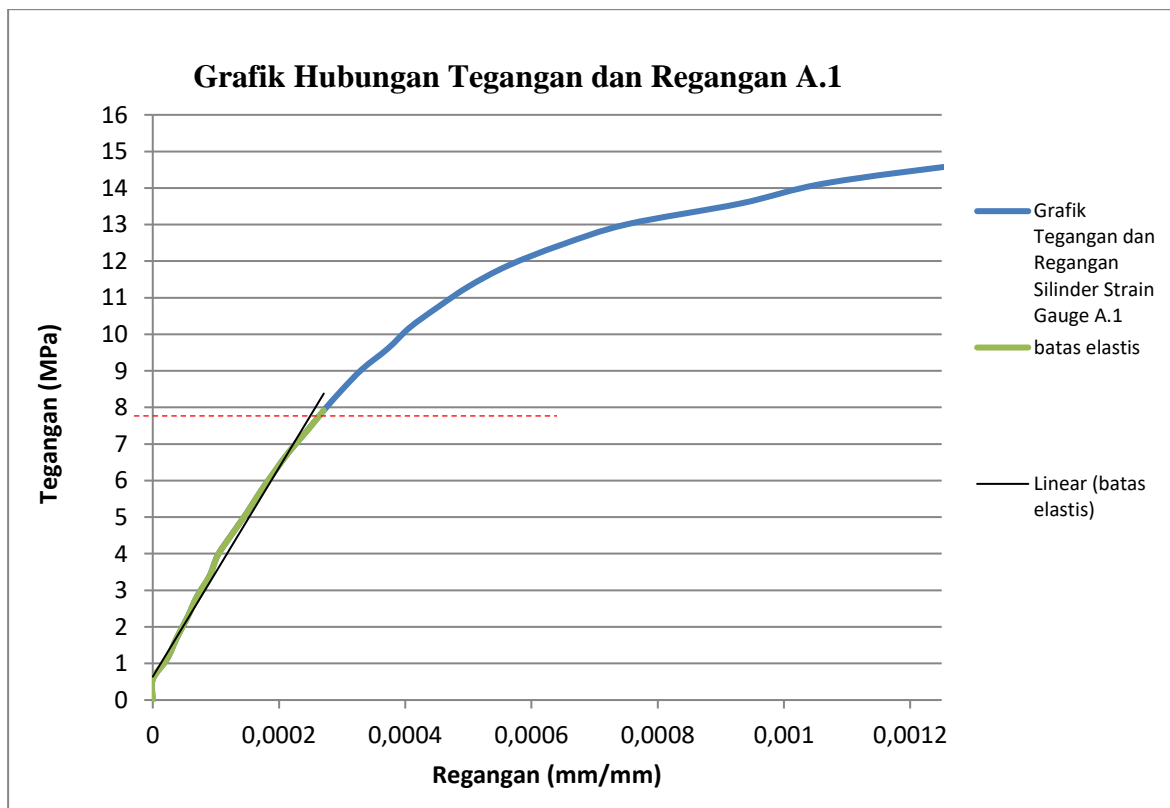
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 91

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.1

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	8.48	0.00030
0.57	0	9.05	0.00033
1.13	0.00002	9.62	0.00037
1.70	0.00004	10.18	0.00041
2.26	0.00006	10.75	0.00045
2.83	0.00007	11.31	0.00050
3.39	0.00009	11.88	0.00056
3.96	0.00010	12.44	0.00065
4.53	0.00013	13.01	0.00075
5.09	0.00015	13.58	0.00093
5.66	0.00017	14.14	0.00107
6.22	0.00019	14.71	0.00132
6.79	0.00022	15.27	0.00165
7.35	0.00024	15.84	0.00207
7.92	0.00027		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 47 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan A.1

Sumber : Hasil Penelitian

2. Benda Uji A.3

Tabel 92

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.3

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	-250	0	0
10	0.57	-250	0	0
20	1.13	-262	12	0.00001
30	1.70	-273	23	0.00002
40	2.26	-286	36	0.00004
50	2.83	-297	47	0.00005
60	3.39	-310	60	0.00006
70	3.96	-322	72	0.00007
80	4.53	-335	85	0.00009
90	5.09	-350	100	0.00010
100	5.66	-364	114	0.00011
110	6.22	-378	128	0.00013
120	6.79	-395	145	0.00015
130	7.35	-417	167	0.00017
140	7.92	-445	195	0.00020
150	8.48	-487	237	0.00024
160	9.05	-541	291	0.00029
170	9.62	-592	342	0.00034
180	10.18	-631	381	0.00038
190	10.75	-690	440	0.00044
200	11.31	-759	509	0.00051
210	11.88	-850	600	0.00060
220	12.44	-925	675	0.00068
230	13.01	-1053	803	0.00080
240	13.58	-1194	944	0.00094
250	14.14	-1359	1109	0.00111
260	14.71	-1747	1497	0.00150

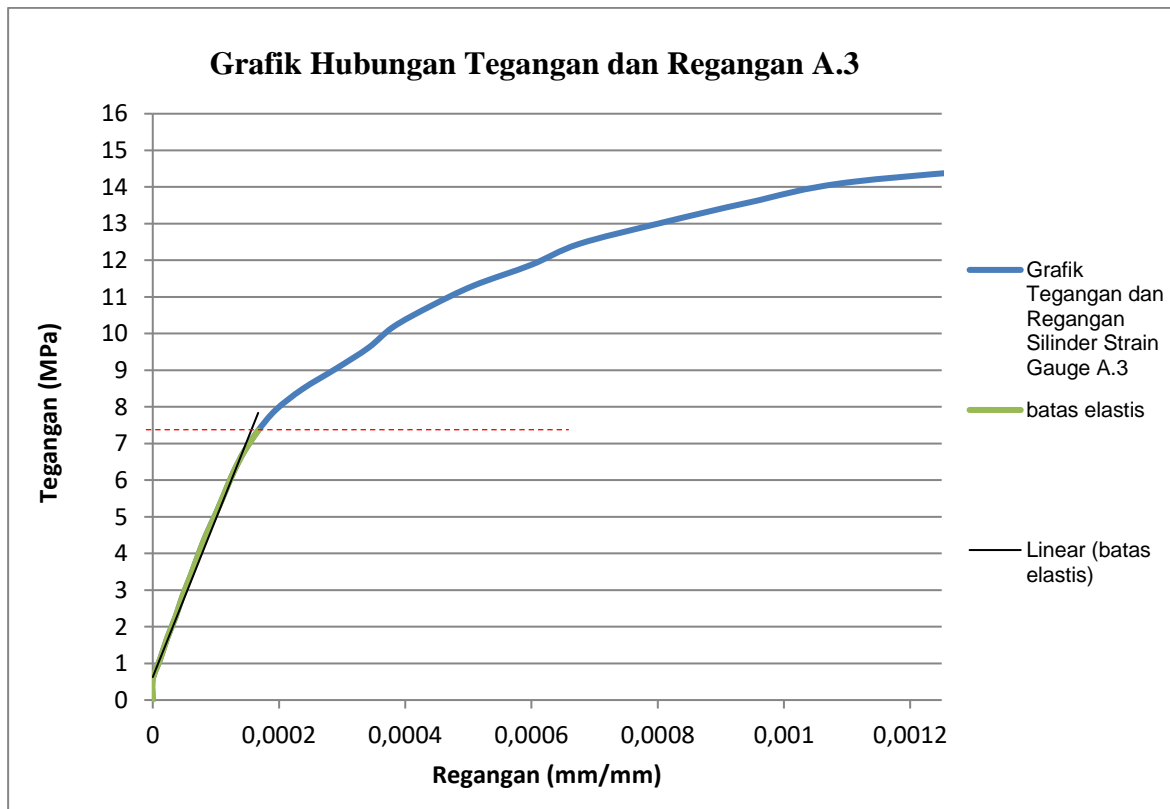
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 93

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.3

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	7.92	0.00020
0.57	0.00000	8.48	0.00024
1.13	0.00001	9.05	0.00029
1.70	0.00002	9.62	0.00034
2.26	0.00004	10.18	0.00038
2.83	0.00005	10.75	0.00044
3.39	0.00006	11.31	0.00051
3.96	0.00007	11.88	0.00060
4.53	0.00009	12.44	0.00068
5.09	0.00010	13.01	0.00080
5.66	0.00011	13.58	0.00094
6.22	0.00013	14.14	0.00111
6.79	0.00015	14.71	0.00150
7.35	0.00017		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 48 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton A.3

Sumber : Hasil Penelitian

3. Benda Uji A.4

Tabel 94

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.4

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0.00	1924	0	0.00000
10	0.57	1924	0	0.00000
20	1.13	1901	23	0.00002
30	1.70	1877	47	0.00005
40	2.26	1851	73	0.00007
50	2.83	1822	102	0.00010
60	3.39	1802	122	0.00012
70	3.96	1773	151	0.00015
80	4.53	1742	182	0.00018
90	5.09	1702	222	0.00022
100	5.66	1666	258	0.00026
110	6.22	1629	295	0.00030
120	6.79	1587	337	0.00034
130	7.35	1534	390	0.00039
140	7.92	1477	447	0.00045
150	8.48	1412	512	0.00051
160	9.05	1327	597	0.00060
170	9.62	1233	691	0.00069
180	10.18	1122	802	0.00080
190	10.75	967	957	0.00096
200	11.31	813	1111	0.00111
210	11.88	496	1428	0.00143
220	12.44	90	1834	0.00183
230	13.01	-1460	3384	0.00338

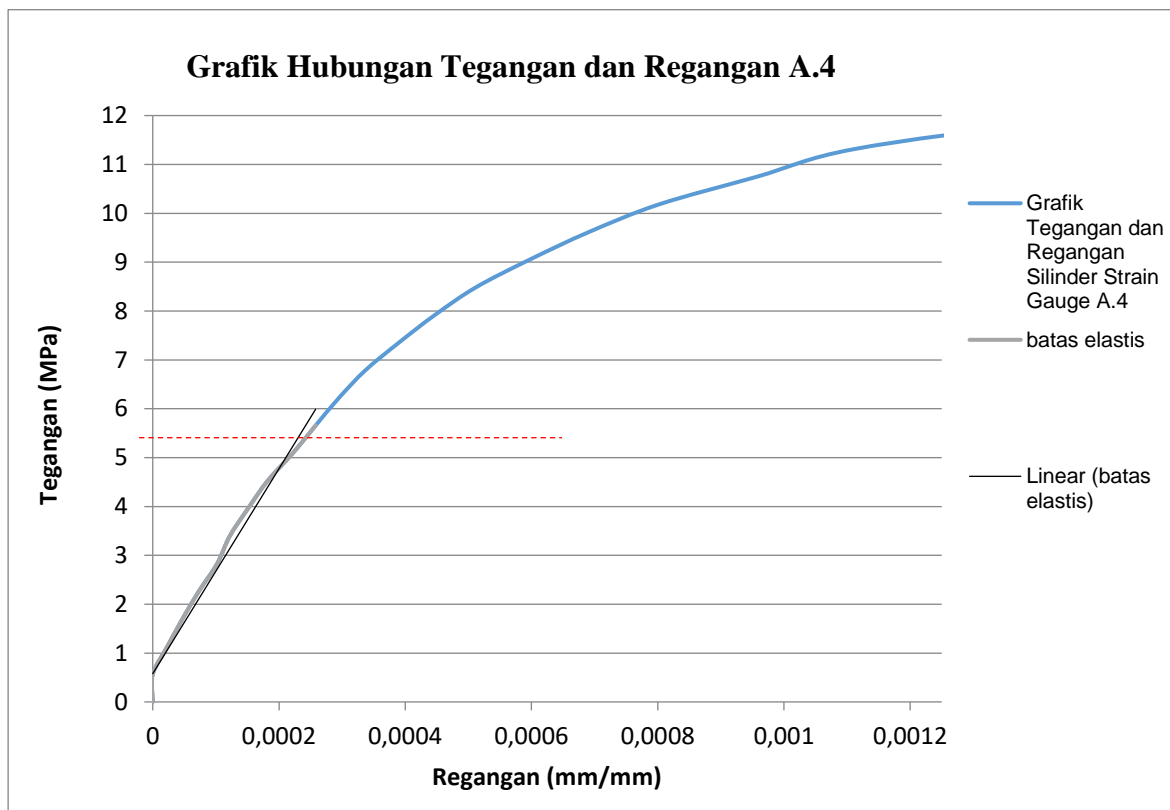
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 95

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.1

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	6.79	0.00034
0.57	0.00000	7.35	0.00039
1.13	0.00002	7.92	0.00045
1.70	0.00005	8.48	0.00051
2.26	0.00007	9.05	0.00060
2.83	0.00010	9.62	0.00069
3.39	0.00012	10.18	0.00080
3.96	0.00015	10.75	0.00096
4.53	0.00018	11.31	0.00111
5.09	0.00022	11.88	0.00143
5.66	0.00026	12.44	0.00183
6.22	0.00030	13.01	0.00338

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 49 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton A.4

Sumber : Hasil Penelitian

4. Benda Uji B.1

Tabel 96

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji B.1

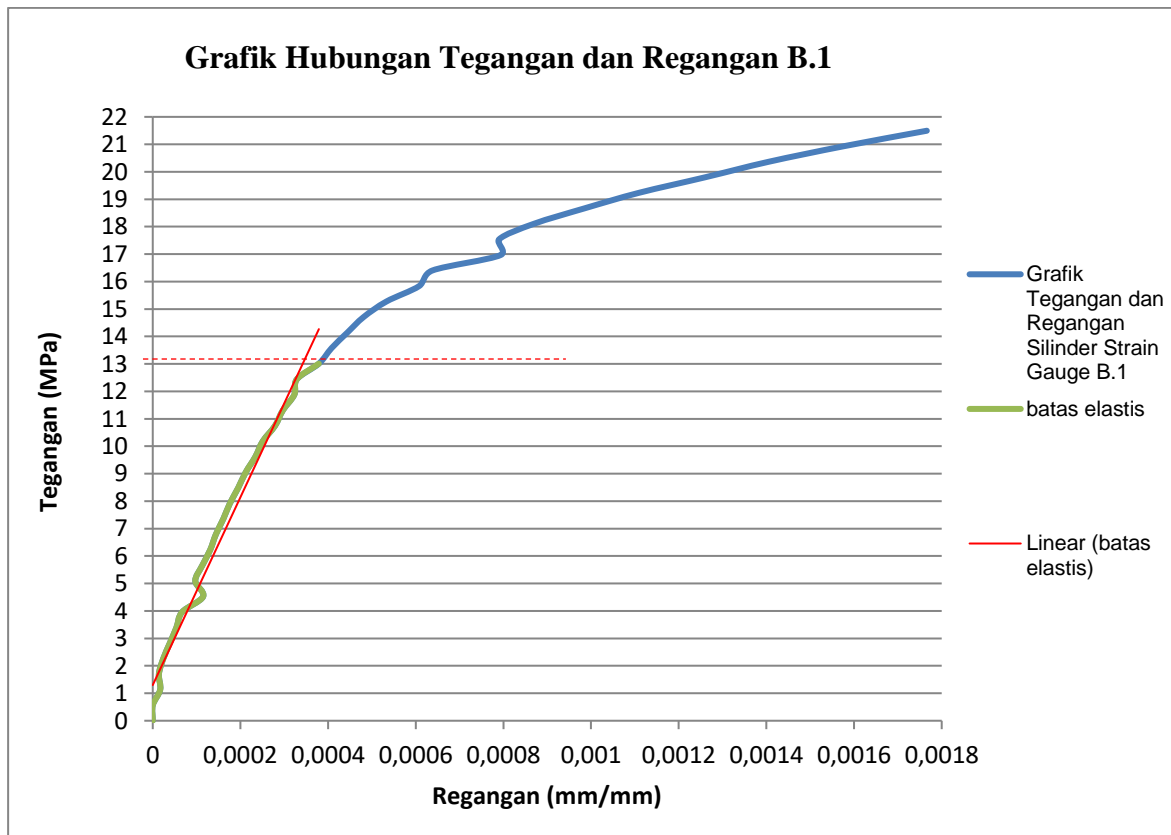
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	2326	0	0
10	0.57	2326	0	0
20	1.13	2309	17	0.00002
30	1.70	2312	14	0.00001
40	2.26	2302	24	0.00002
50	2.83	2287	39	0.00004
60	3.39	2272	54	0.00005
70	3.96	2259	67	0.00007
80	4.53	2211	115	0.00012
90	5.09	2229	97	0.00010
100	5.66	2213	113	0.00011
110	6.22	2195	131	0.00013
120	6.79	2182	144	0.00014
130	7.35	2165	161	0.00016
140	7.92	2150	176	0.00018
150	8.48	2131	195	0.00020
160	9.05	2114	212	0.00021
170	9.62	2092	234	0.00023
180	10.18	2075	251	0.00025
190	10.75	2047	279	0.00028
200	11.31	2029	297	0.00030
210	11.88	2003	323	0.00032
220	12.44	1997	329	0.00033
230	13.01	1947	379	0.00038
240	13.58	1918	408	0.00041
250	14.14	1882	444	0.00044
260	14.71	1845	481	0.00048
270	15.27	1793	533	0.00053
280	15.84	1718	608	0.00061
290	16.40	1688	638	0.00064
300	16.97	1532	794	0.00079
310	17.54	1536	790	0.00079
320	18.10	1457	869	0.00087
330	18.67	1341	985	0.00099
340	19.23	1217	1109	0.00111
350	19.80	1066	1260	0.00126
360	20.36	921	1405	0.00141
370	20.93	750	1576	0.00158
380	21.49	560	1766	0.00177

Tabel 97

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.1

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	7.92	0.00018	15.84	0.00061
0.57	0	8.48	0.00020	16.40	0.00064
1.13	0.00002	9.05	0.00021	16.97	0.00079
1.70	0.00001	9.62	0.00023	17.54	0.00079
2.26	0.00002	10.18	0.00025	18.10	0.00087
2.83	0.00004	10.75	0.00028	18.67	0.00099
3.39	0.00005	11.31	0.00030	19.23	0.00111
3.96	0.00007	11.88	0.00032	19.80	0.00126
4.53	0.00012	12.44	0.00033	20.36	0.00141
5.09	0.00010	13.01	0.00038	20.93	0.00158
5.66	0.00011	13.58	0.00041	21.49	0.00177
6.22	0.00013	14.14	0.00044		
6.79	0.00014	14.71	0.00048		
7.35	0.00016	15.27	0.00053		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 50 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton B.1

Sumber : Hasil Penelitian

5. Benda Uji B.2

Tabel 98

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji B.2

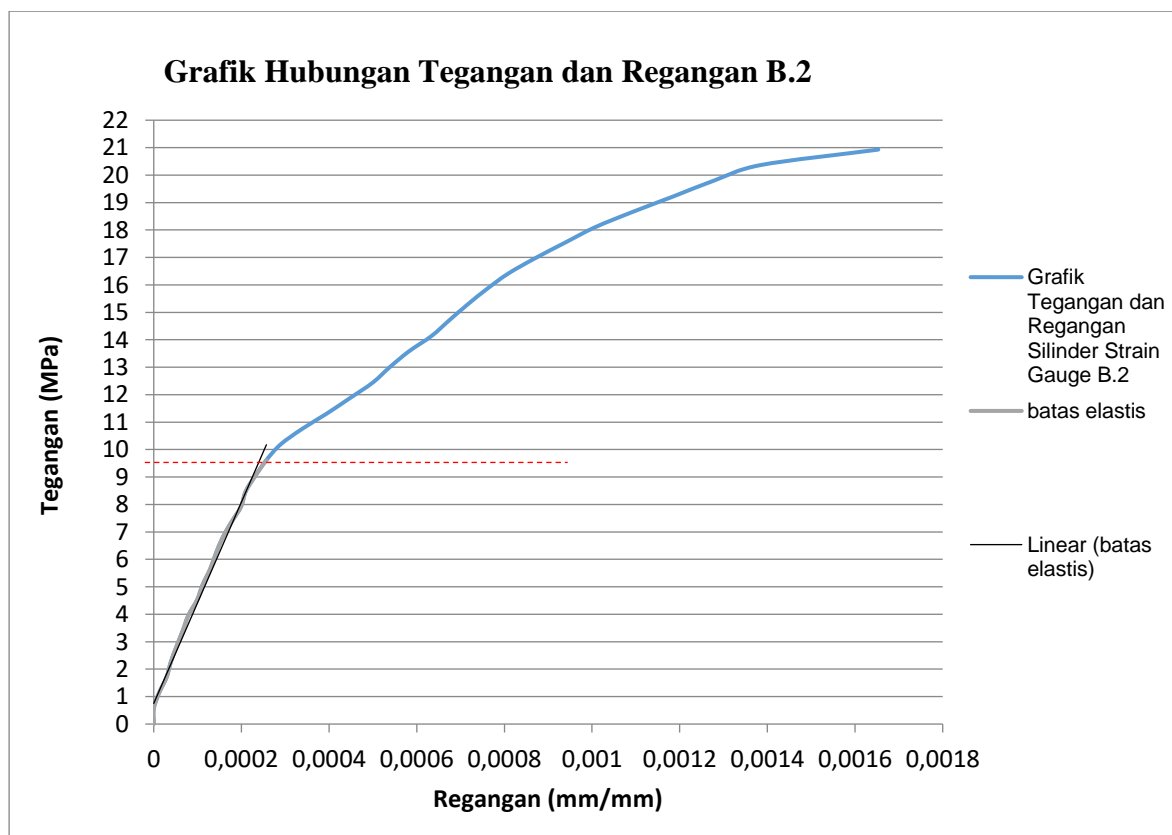
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	1891	0	0
10	0.57	1891	0	0.00000
20	1.13	1879	12	0.00001
30	1.70	1862	29	0.00003
40	2.26	1852	39	0.00004
50	2.83	1839	52	0.00005
60	3.39	1825	66	0.00007
70	3.96	1812	79	0.00008
80	4.53	1792	99	0.00010
90	5.09	1779	112	0.00011
100	5.66	1762	129	0.00013
110	6.22	1749	142	0.00014
120	6.79	1734	157	0.00016
130	7.35	1714	177	0.00018
140	7.92	1692	199	0.00020
150	8.48	1681	210	0.00021
160	9.05	1659	232	0.00023
170	9.62	1634	257	0.00026
180	10.18	1602	289	0.00029
190	10.75	1553	338	0.00034
200	11.31	1496	395	0.00040
210	11.88	1443	448	0.00045
220	12.44	1391	500	0.00050
230	13.01	1352	539	0.00054
240	13.58	1309	582	0.00058
250	14.14	1257	634	0.00063
260	14.71	1217	674	0.00067
270	15.27	1176	715	0.00072
280	15.84	1132	759	0.00076
290	16.40	1083	808	0.00081
300	16.97	1021	870	0.00087
310	17.54	953	938	0.00094
320	18.10	884	1007	0.00101
330	18.67	797	1094	0.00109
340	19.23	704	1187	0.00119
350	19.80	613	1278	0.00128
360	20.36	507	1384	0.00138
370	20.93	238	1653	0.00165

Tabel 99

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.1

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	7.35	0.00018	14.71	0.00067
0.57	0.00000	7.92	0.00020	15.27	0.00072
1.13	0.00001	8.48	0.00021	15.84	0.00076
1.70	0.00003	9.05	0.00023	16.40	0.00081
2.26	0.00004	9.62	0.00026	16.97	0.00087
2.83	0.00005	10.18	0.00029	17.54	0.00094
3.39	0.00007	10.75	0.00034	18.10	0.00101
3.96	0.00008	11.31	0.00040	18.67	0.00109
4.53	0.00010	11.88	0.00045	19.23	0.00119
5.09	0.00011	12.44	0.00050	19.80	0.00128
5.66	0.00013	13.01	0.00054	20.36	0.00138
6.22	0.00014	13.58	0.00058	20.93	0.00165
6.79	0.00016	14.14	0.00063		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 51 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton B.2

Sumber : Hasil Penelitian

6. Benda Uji B.3

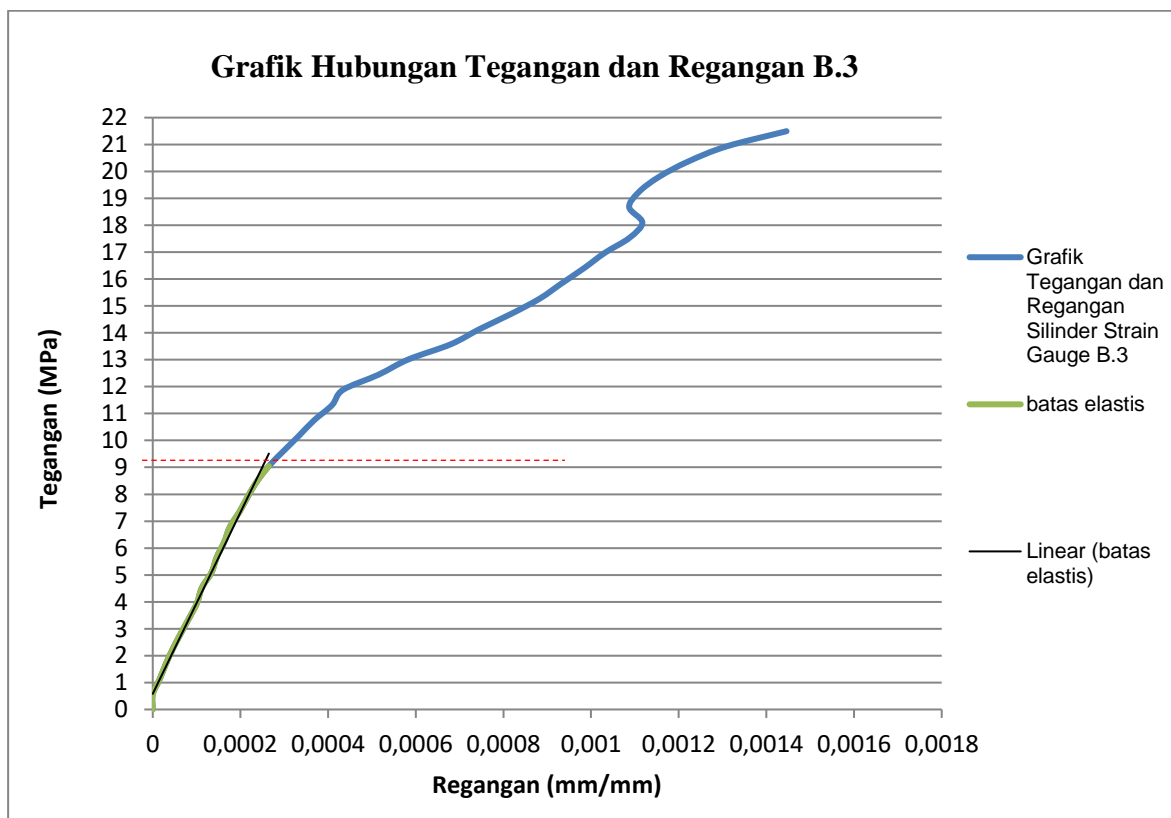
Tabel 100

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji B.3

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	1661	0	0.00000
10	0.57	1661	0	0.00000
20	1.13	1645	16	0.00002
30	1.70	1631	30	0.00003
40	2.26	1615	46	0.00005
50	2.83	1597	64	0.00006
60	3.39	1578	83	0.00008
70	3.96	1560	101	0.00010
80	4.53	1549	112	0.00011
90	5.09	1527	134	0.00013
100	5.66	1515	146	0.00015
110	6.22	1498	163	0.00016
120	6.79	1485	176	0.00018
130	7.35	1463	198	0.00020
140	7.92	1444	217	0.00022
150	8.48	1423	238	0.00024
160	9.05	1396	265	0.00027
170	9.62	1362	299	0.00030
180	10.18	1327	334	0.00033
190	10.75	1293	368	0.00037
200	11.31	1252	409	0.00041
210	11.88	1227	434	0.00043
220	12.44	1146	515	0.00052
230	13.01	1078	583	0.00058
240	13.58	981	680	0.00068
250	14.14	915	746	0.00075
260	14.71	843	818	0.00082
270	15.27	778	883	0.00088
280	15.84	728	933	0.00093
290	16.40	677	984	0.00098
300	16.97	630	1031	0.00103
310	17.54	573	1088	0.00109
320	18.10	544	1117	0.00112
330	18.67	574	1087	0.00109
340	19.23	552	1109	0.00111
350	19.80	506	1155	0.00116
360	20.36	440	1221	0.00122
370	20.93	352	1309	0.00131
380	21.49	215	1446	0.00145

Tabel 101
Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji B.3

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	7.35	0.00020	15.84	0.00093
0.57	0.00000	7.92	0.00022	16.40	0.00098
1.13	0.00002	8.48	0.00024	16.97	0.00103
1.70	0.00003	9.05	0.00027	17.54	0.00109
2.26	0.00005	9.62	0.00030	18.10	0.00112
2.83	0.00006	10.18	0.00033	18.67	0.00109
3.39	0.00008	10.75	0.00037	19.23	0.00111
3.96	0.00010	11.31	0.00041	19.80	0.00116
4.53	0.00011	11.88	0.00043	20.36	0.00122
5.09	0.00013	12.44	0.00052	20.93	0.00131
5.66	0.00015	13.01	0.00058	21.49	0.00145
6.22	0.00016	13.58	0.00068		
6.79	0.00018	14.14	0.00075		



Gambar 52 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton B.3
Sumber : Hasil Penelitian

7. Benda Uji C.2

Tabel 102

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji C.2

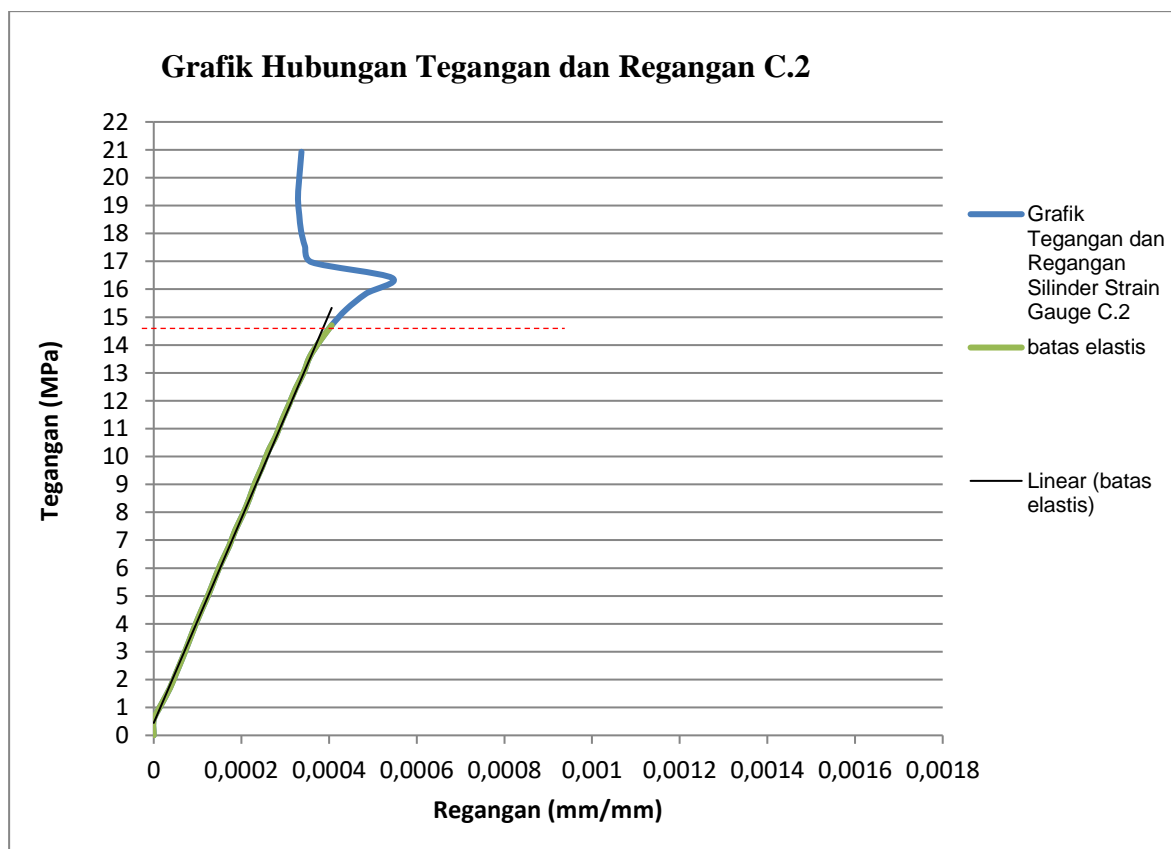
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	-193	0	0
10	0.57	-193	0	0
20	1.13	-211	18	0.00002
30	1.70	-230	37	0.00004
40	2.26	-245	52	0.00005
50	2.83	-260	67	0.00007
60	3.39	-274	81	0.00008
70	3.96	-288	95	0.00010
80	4.53	-303	110	0.00011
90	5.09	-319	126	0.00013
100	5.66	-333	140	0.00014
110	6.22	-348	155	0.00016
120	6.79	-365	172	0.00017
130	7.35	-379	186	0.00019
140	7.92	-396	203	0.00020
150	8.48	-411	218	0.00022
160	9.05	-424	231	0.00023
170	9.62	-440	247	0.00025
180	10.18	-454	261	0.00026
190	10.75	-472	279	0.00028
200	11.31	-486	293	0.00029
210	11.88	-502	309	0.00031
220	12.44	-517	324	0.00032
230	13.01	-535	342	0.00034
240	13.58	-549	356	0.00036
250	14.14	-572	379	0.00038
260	14.71	-599	406	0.00041
270	15.27	-632	439	0.00044
280	15.84	-677	484	0.00048
290	16.40	-737	544	0.00054
300	16.97	-553	360	0.00036
310	17.54	-538	345	0.00035
320	18.10	-529	336	0.00034
330	18.67	-525	332	0.00033
340	19.23	-522	329	0.00033
350	19.80	-524	331	0.00033
360	20.36	-527	334	0.00033
370	20.93	-530	337	0.00034

Tabel 103

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji C.2

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	7.35	0.00019	14.71	0.00041
0.57	0.00000	7.92	0.00020	15.27	0.00044
1.13	0.00002	8.48	0.00022	15.84	0.00048
1.70	0.00004	9.05	0.00023	16.40	0.00054
2.26	0.00005	9.62	0.00025	16.97	0.00036
2.83	0.00007	10.18	0.00026	17.54	0.00035
3.39	0.00008	10.75	0.00028	18.10	0.00034
3.96	0.00010	11.31	0.00029	18.67	0.00033
4.53	0.00011	11.88	0.00031	19.23	0.00033
5.09	0.00013	12.44	0.00032	19.80	0.00033
5.66	0.00014	13.01	0.00034	20.36	0.00033
6.22	0.00016	13.58	0.00036	20.93	0.00034
6.79	0.00017	14.14	0.00038		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 53 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.2

Sumber : Hasil Penelitian

8. Benda Uji C.3

Tabel 104

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji C.3

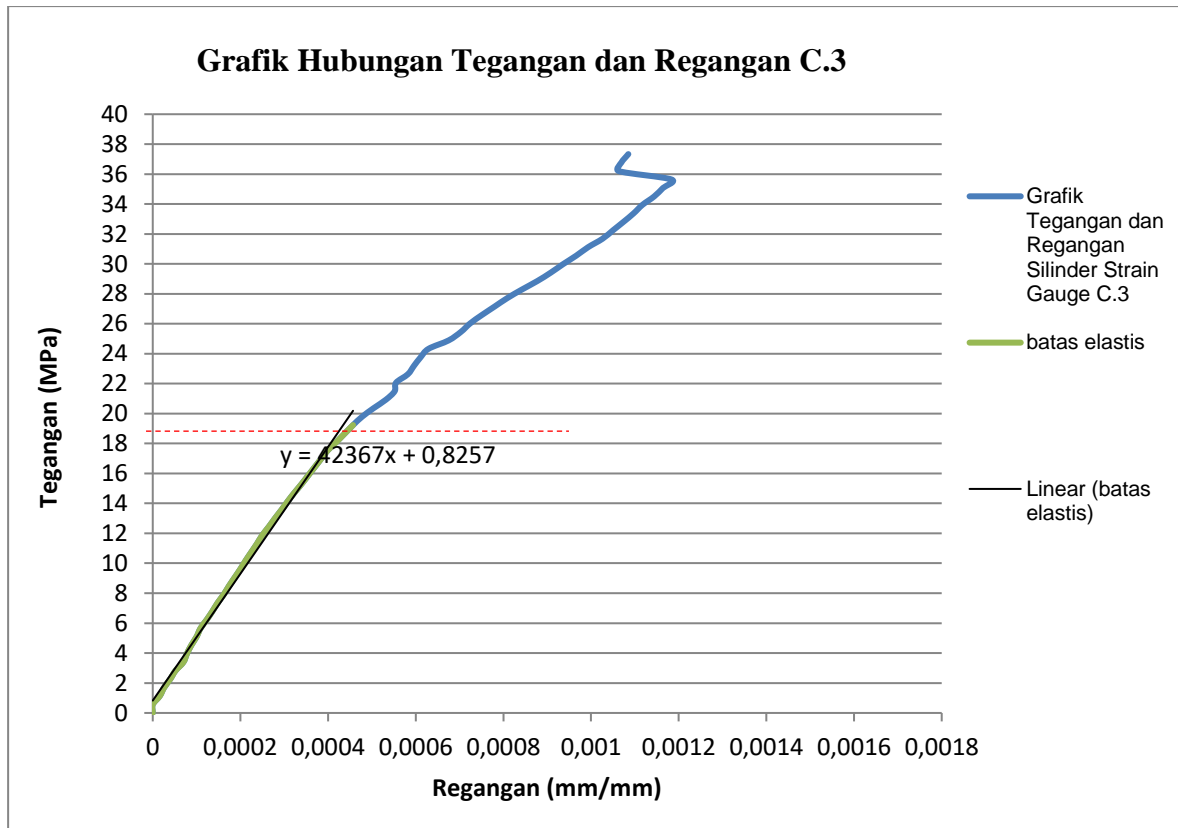
BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	69	0	0
10	0.57	69	0	0
20	1.13	53	16	0.00002
30	1.70	43	26	0.00003
40	2.26	29	40	0.00004
50	2.83	17	52	0.00005
60	3.39	-1	70	0.00007
70	3.96	-9	78	0.00008
80	4.53	-19	88	0.00009
90	5.09	-31	100	0.00010
100	5.66	-40	109	0.00011
110	6.22	-54	123	0.00012
120	6.79	-67	136	0.00014
130	7.35	-79	148	0.00015
140	7.92	-93	162	0.00016
150	8.48	-105	174	0.00017
160	9.05	-118	187	0.00019
170	9.62	-131	200	0.00020
180	10.18	-143	212	0.00021
190	10.75	-156	225	0.00023
200	11.31	-169	238	0.00024
210	11.88	-181	250	0.00025
220	12.44	-196	265	0.00027
230	13.01	-210	279	0.00028
240	13.58	-225	294	0.00029
250	14.14	-239	308	0.00031
260	14.71	-254	323	0.00032
270	15.27	-270	339	0.00034
280	15.84	-285	354	0.00035
290	16.40	-300	369	0.00037
300	16.97	-315	384	0.00038
310	17.54	-330	399	0.00040
320	18.10	-350	419	0.00042
330	18.67	-369	438	0.00044
340	19.23	-388	457	0.00046
350	19.80	-409	478	0.00048
360	20.36	-435	504	0.00050

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ϵ (μm)	Regangan ϵ (mm)
370	20.93	-463	532	0.00053
380	21.49	-483	552	0.00055
390	22.06	-486	555	0.00056
400	22.63	-513	582	0.00058
410	23.19	-527	596	0.00060
420	23.76	-542	611	0.00061
430	24.32	-560	629	0.00063
440	24.89	-606	675	0.00068
450	25.45	-634	703	0.00070
460	26.02	-655	724	0.00072
470	26.59	-682	751	0.00075
480	27.15	-711	780	0.00078
490	27.72	-740	809	0.00081
500	28.28	-773	842	0.00084
510	28.85	-808	877	0.00088
520	29.41	-839	908	0.00091
530	29.98	-867	936	0.00094
540	30.55	-897	966	0.00097
550	31.11	-924	993	0.00099
560	31.68	-957	1026	0.00103
570	32.24	-981	1050	0.00105
580	32.81	-1005	1074	0.00107
590	33.37	-1028	1097	0.00110
600	33.94	-1048	1117	0.00112
610	34.51	-1075	1144	0.00114
620	35.07	-1095	1164	0.00116
630	35.64	-1115	1184	0.00118
640	36.20	-994	1063	0.00106
650	36.77	-1000	1069	0.00107
660	37.33	-1016	1085	0.00109

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 105
 Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji C.3

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	19.23	0.00046
0.57	0.00000	19.80	0.00048
1.13	0.00002	20.36	0.00050
1.70	0.00003	20.93	0.00053
2.26	0.00004	21.49	0.00055
2.83	0.00005	22.06	0.00056
3.39	0.00007	22.63	0.00058
3.96	0.00008	23.19	0.00060
4.53	0.00009	23.76	0.00061
5.09	0.00010	24.32	0.00063
5.66	0.00011	24.89	0.00068
6.22	0.00012	25.45	0.00070
6.79	0.00014	26.02	0.00072
7.35	0.00015	26.59	0.00075
7.92	0.00016	27.15	0.00078
8.48	0.00017	27.72	0.00081
9.05	0.00019	28.28	0.00084
9.62	0.00020	28.85	0.00088
10.18	0.00021	29.41	0.00091
10.75	0.00023	29.98	0.00094
11.31	0.00024	30.55	0.00097
11.88	0.00025	31.11	0.00099
12.44	0.00027	31.68	0.00103
13.01	0.00028	32.24	0.00105
13.58	0.00029	32.81	0.00107
14.14	0.00031	33.37	0.00110
14.71	0.00032	33.94	0.00112
15.27	0.00034	34.51	0.00114
15.84	0.00035	35.07	0.00116
16.40	0.00037	35.64	0.00118
16.97	0.00038	36.20	0.00106
17.54	0.00040	36.77	0.00107
18.10	0.00042	37.33	0.001085
18.67	0.00044		



Gambar 54 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton C.3
Sumber : Hasil Penelitian

9. Benda Uji D.2

Tabel 106

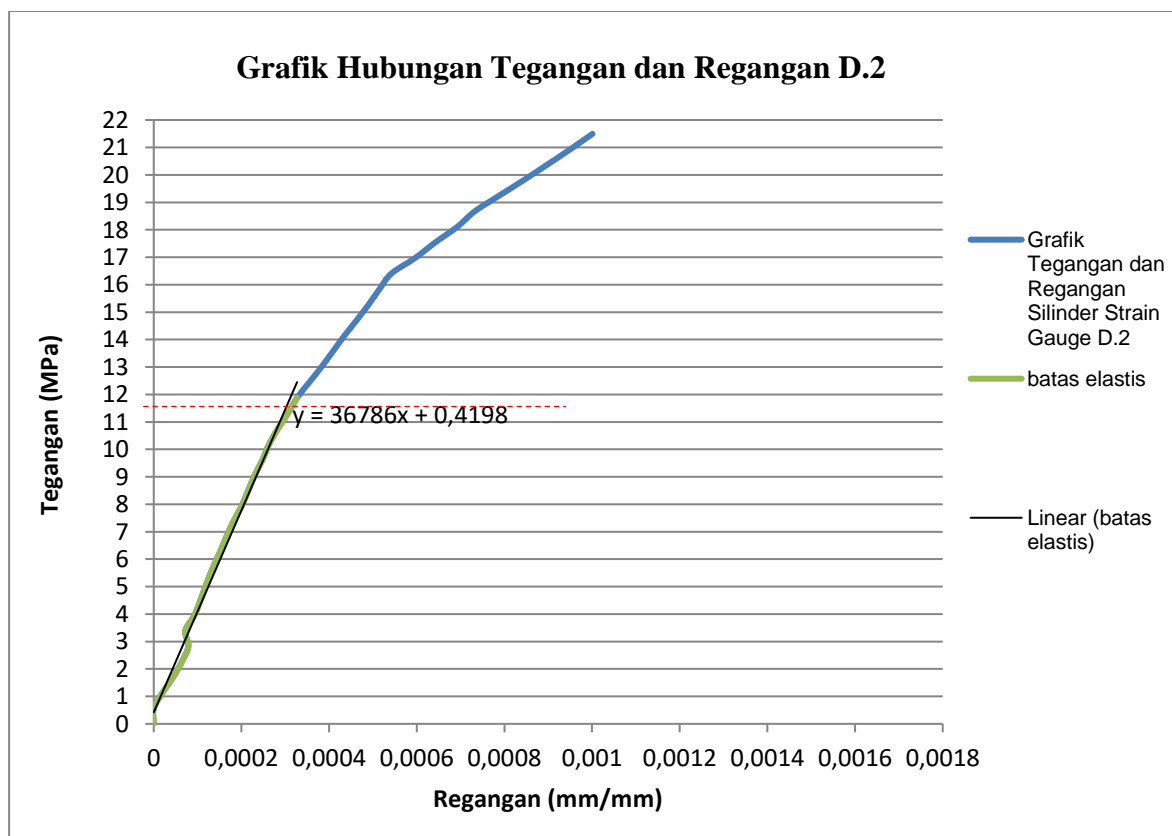
Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji D.2

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0	150	0	0
10	0.57	150	0	0
20	1.13	130	20	0.00002
30	1.70	106	44	0.00004
40	2.26	86	64	0.00006
50	2.83	71	79	0.00008
60	3.39	78	72	0.00007
70	3.96	57	93	0.00009
80	4.53	43	107	0.00011
90	5.09	30	120	0.00012
100	5.66	16	134	0.00013
110	6.22	0	150	0.00015
120	6.79	-15	165	0.00017
130	7.35	-31	181	0.00018
140	7.92	-50	200	0.00020
150	8.48	-65	215	0.00022
160	9.05	-80	230	0.00023
170	9.62	-98	248	0.00025
180	10.18	-113	263	0.00026
190	10.75	-133	283	0.00028
200	11.31	-156	306	0.00031
210	11.88	-177	327	0.00033
220	12.44	-205	355	0.00036
230	13.01	-233	383	0.00038
240	13.58	-259	409	0.00041
250	14.14	-285	435	0.00044
260	14.71	-313	463	0.00046
270	15.27	-340	490	0.00049
280	15.84	-365	515	0.00052
290	16.40	-392	542	0.00054
300	16.97	-446	596	0.00060
310	17.54	-492	642	0.00064
320	18.10	-542	692	0.00069
330	18.67	-582	732	0.00073
340	19.23	-637	787	0.00079
350	19.80	-693	843	0.00084
360	20.36	-747	897	0.00090
370	20.93	-800	950	0.00095
380	21.49	-851	1001	0.00100

Tabel 107

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji A.1

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	8.48	0.00022	16.97	0.00060
0.57	0	9.05	0.00023	17.54	0.00064
1.13	0.00002	9.62	0.00025	18.10	0.00069
1.70	0.00004	10.18	0.00026	18.67	0.00073
2.26	0.00006	10.75	0.00028	19.23	0.00079
2.83	0.00008	11.31	0.00031	19.80	0.00084
3.39	0.00007	11.88	0.00033	20.36	0.00090
3.96	0.00009	12.44	0.00036	20.93	0.00095
4.53	0.00011	13.01	0.00038	21.49	0.00100
5.09	0.00012	13.58	0.00041		
5.66	0.00013	14.14	0.00044		
6.22	0.00015	14.71	0.00046		
6.79	0.00017	15.27	0.00049		
7.35	0.00018	15.84	0.00052		
7.92	0.00020	16.40	0.00054		



Gambar 55 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton D.2

Sumber : Hasil Penelitian

10. Benda Uji D.3

Tabel 108

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji D.3

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ε (μm)	Regangan ε (mm)
0	0.00	244	0	0.00000
10	0.57	244	0	0.00000
20	1.13	225	19	0.00002
30	1.70	203	41	0.00004
40	2.26	184	60	0.00006
50	2.83	162	82	0.00008
60	3.39	137	107	0.00011
70	3.96	110	134	0.00013
80	4.53	94	150	0.00015
90	5.09	80	164	0.00016
100	5.66	51	193	0.00019
110	6.22	32	212	0.00021
120	6.79	5	239	0.00024
130	7.35	-22	266	0.00027
140	7.92	-44	288	0.00029
150	8.48	-87	331	0.00033
160	9.05	-99	343	0.00034
170	9.62	-134	378	0.00038
180	10.18	-157	401	0.00040
190	10.75	-191	435	0.00044
200	11.31	-238	482	0.00048
210	11.88	-283	527	0.00053
220	12.44	-317	561	0.00056
230	13.01	-373	617	0.00062
240	13.58	-431	675	0.00068
250	14.14	-502	746	0.00075
260	14.71	-581	825	0.00083
270	15.27	-643	887	0.00089
280	15.84	-710	954	0.00095
290	16.40	-757	1001	0.00100
300	16.97	-824	1068	0.00107
310	17.54	-885	1129	0.00113
320	18.10	-941	1185	0.00119
330	18.67	-1005	1249	0.00125
340	19.23	-1051	1295	0.00130
350	19.80	-1112	1356	0.00136

BEBAN (KN)	TEGANGAN (MPa)	Pembacaan Horizontal	ϵ (μm)	Regangan ϵ (mm)
360	20.36	-1166	1410	0.00141
370	20.93	-1217	1461	0.00146
380	21.49	-1260	1504	0.00150
390	22.06	-1297	1541	0.00154
400	22.63	-1337	1581	0.00158
410	23.19	-1000	1244	0.00124
420	23.76	-799	1043	0.00104

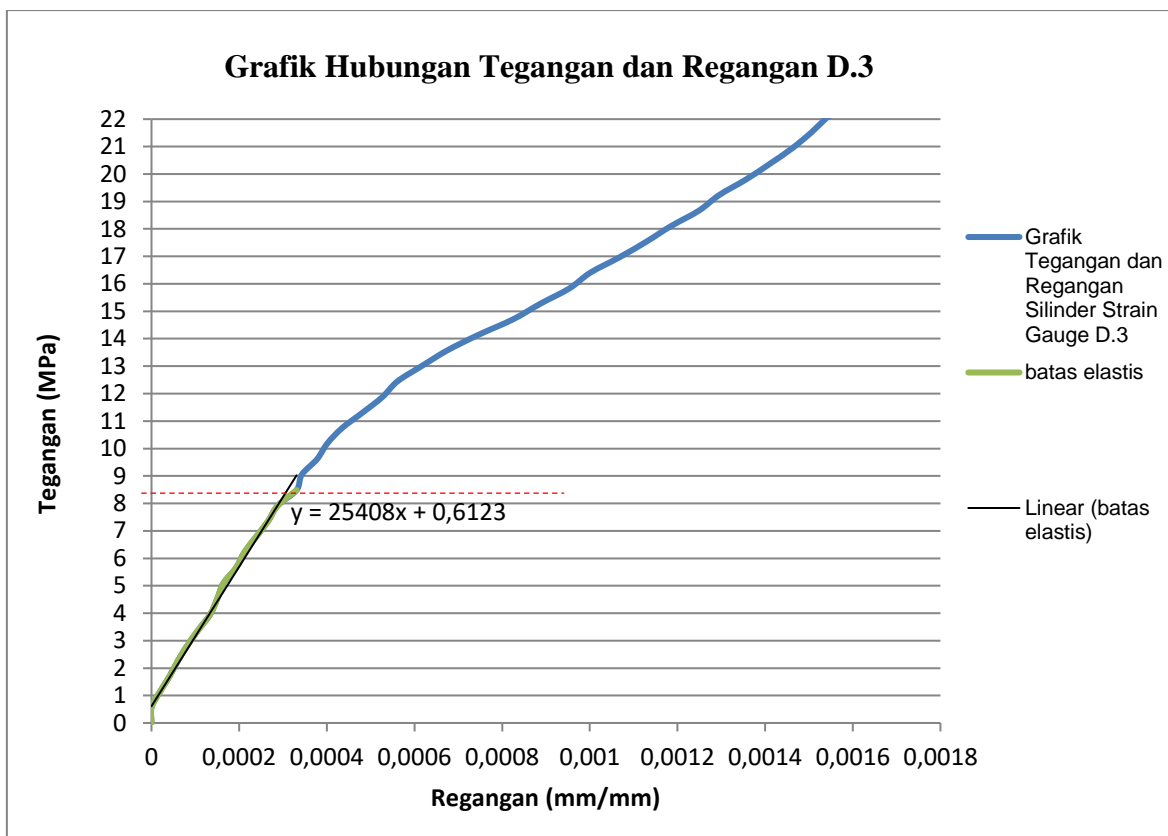
Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 109

Hasil pembacaan *strain gauge* benda uji D.3

TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm	TEGANGAN (MPa)	Regangan, mm
0	0	13.01	0.00062
0.57	0	13.58	0.00068
1.13	0.00002	14.14	0.00075
1.70	0.00004	14.71	0.00083
2.26	0.00006	15.27	0.00089
2.83	0.00008	15.84	0.00095
3.39	0.00011	16.40	0.00100
3.96	0.00013	16.97	0.00107
4.53	0.00015	17.54	0.00113
5.09	0.00016	18.10	0.00119
5.66	0.00019	18.67	0.00125
6.22	0.00021	19.23	0.00130
6.79	0.00024	19.80	0.00136
7.35	0.00027	20.36	0.00141
7.92	0.00029	20.93	0.00146
8.48	0.00033	21.49	0.00150
9.05	0.00034	22.06	0.00154
9.62	0.00038	22.63	0.00158
10.18	0.00040	23.19	0.00124
10.75	0.00044	23.76	0.00104
11.31	0.00048		
11.88	0.00053		
12.44	0.00056		

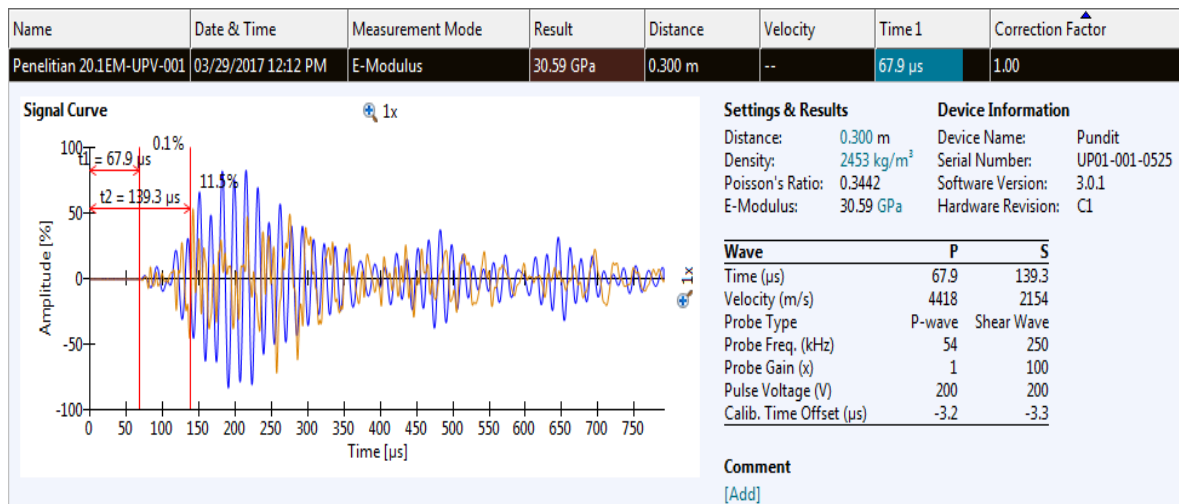
Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 56 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton Serat D.3
 Sumber : Hasil Penelitian

Lampiran 7. Hasil Uji Modulus Elastisitas Menggunakan Alat PUNDIT PL-200

1. Benda Uji A.1

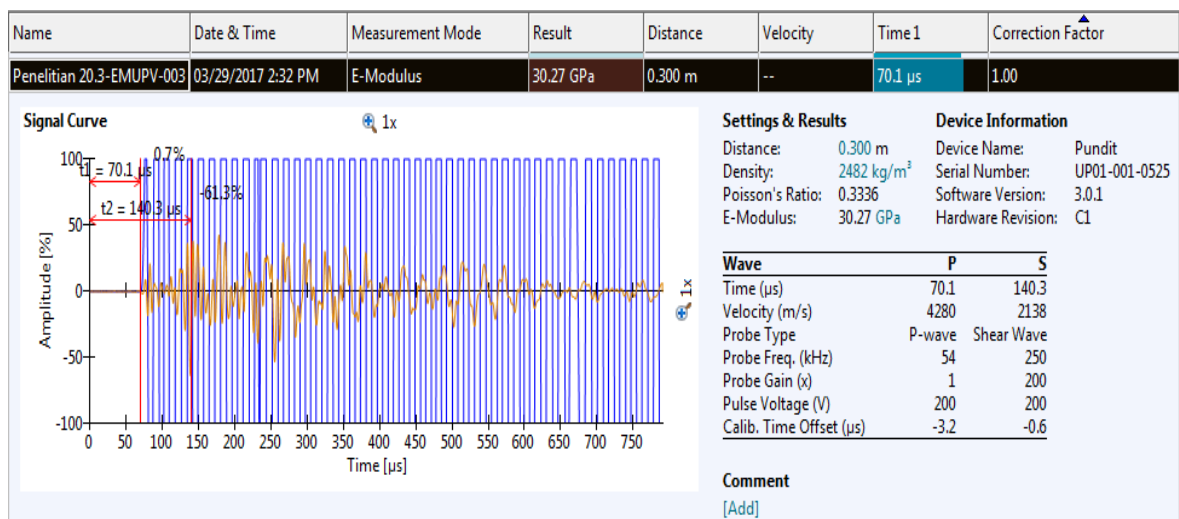


Gambar 57 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji A.1

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4418 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2154 m/s
- Ratio poisson = 0.3442
- Modulus Elastisitas = 30.59 GPa

2. Benda Uji A.3

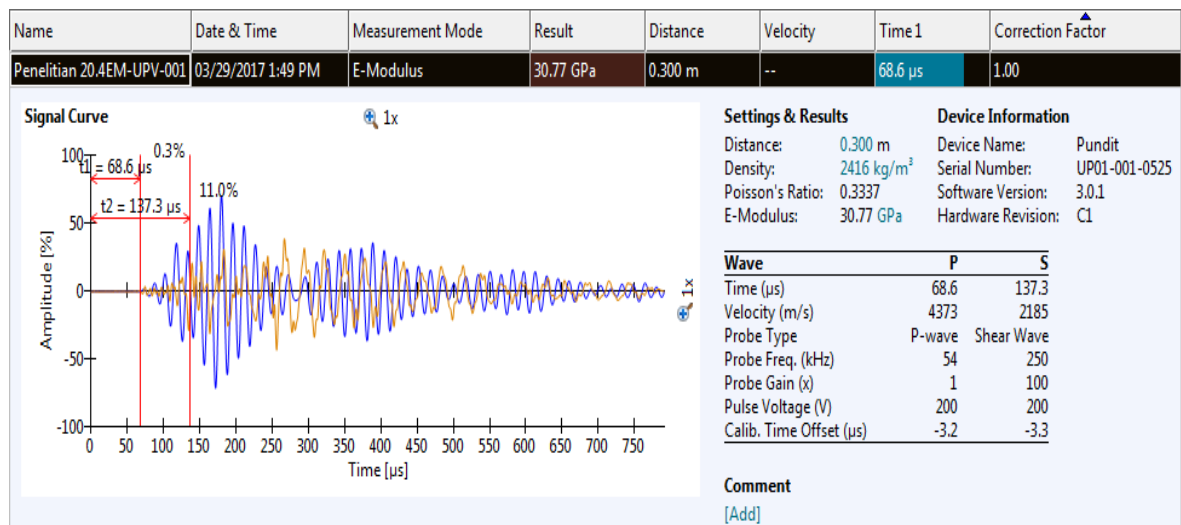


Gambar 58 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji A.3

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4280 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2138 m/s
- Ratio poisson = 0.3336
- Modulus Elastisitas = 30.27 GPa

3. Benda Uji A.4

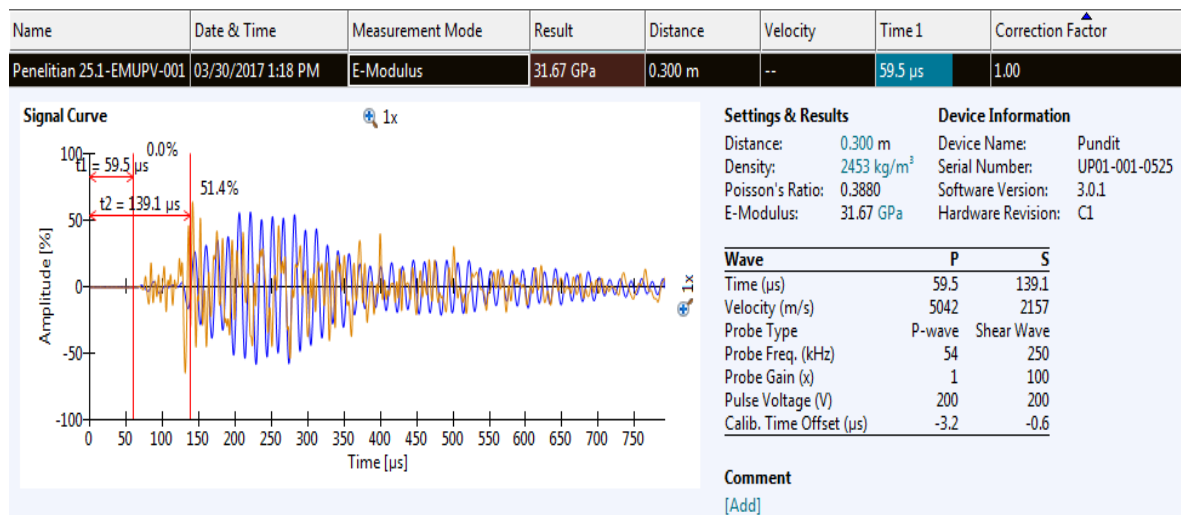


Gambar 59 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji A.4

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4373 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2185 m/s
- Ratio poisson = 0.3337
- Modulus Elastisitas = 30.77 GPa

4. Benda Uji B.1

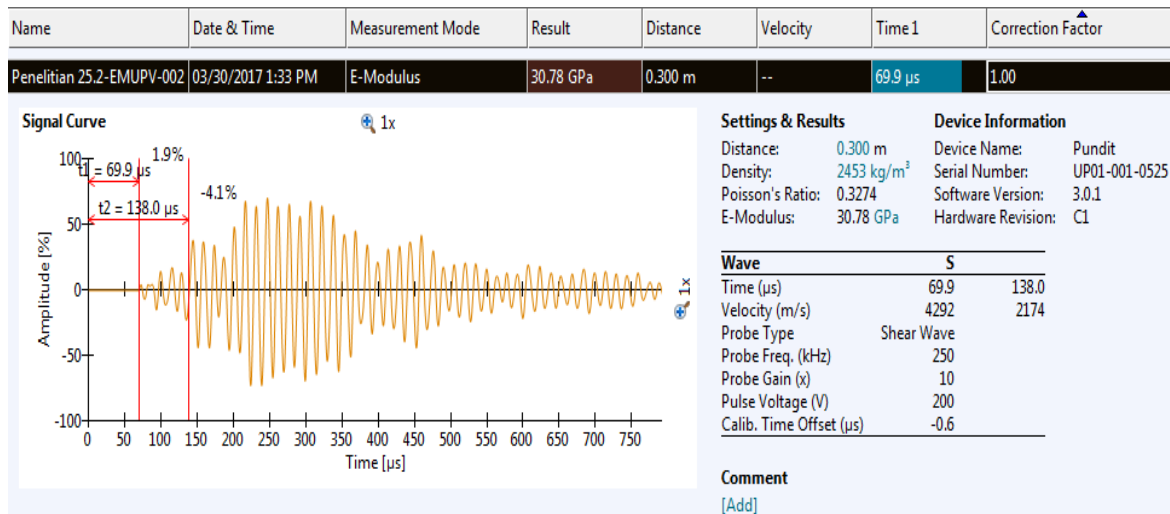


Gambar 60 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji A.5

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 5042 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2157 m/s
- Ratio poisson = 0.3880
- Modulus Elastisitas = 31.67 GPa

5. Benda Uji B.2

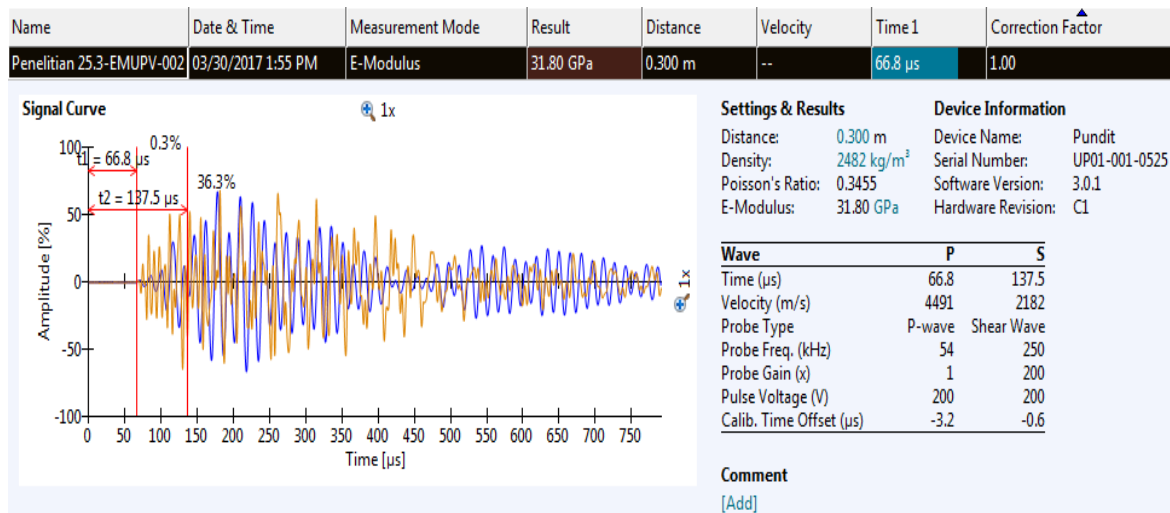


Gambar 61 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji B.2

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4292 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2174 m/s
- Ratio poisson = 0.3274
- Modulus Elastisitas = 30.78 GPa

6. Benda Uji B.3

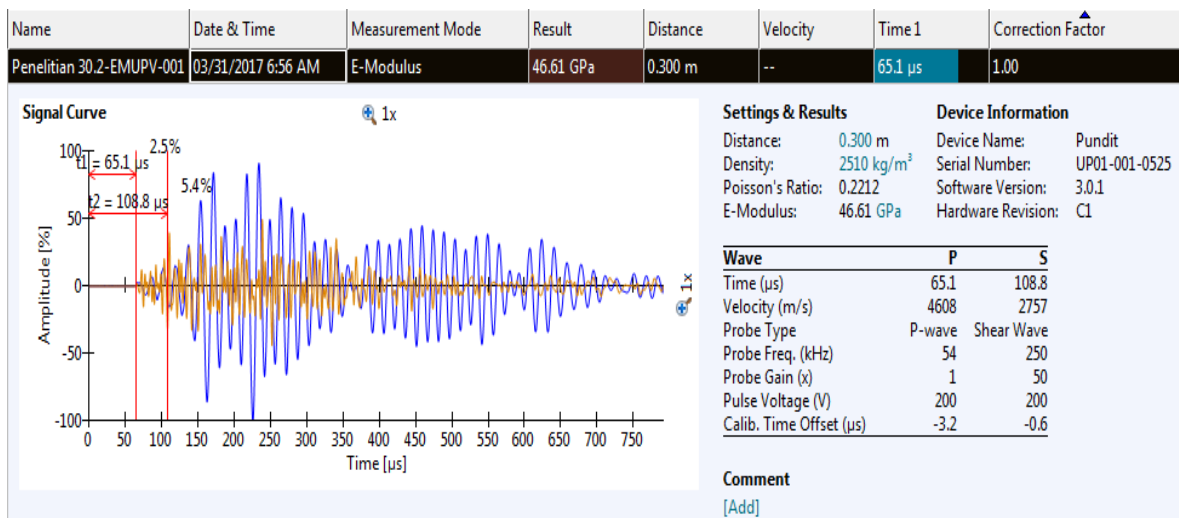


Gambar 62 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji B.3

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4491 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2182 m/s
- Ratio poisson = 0.3455
- Modulus Elastisitas = 31.80 GPa

7. Benda Uji C.2

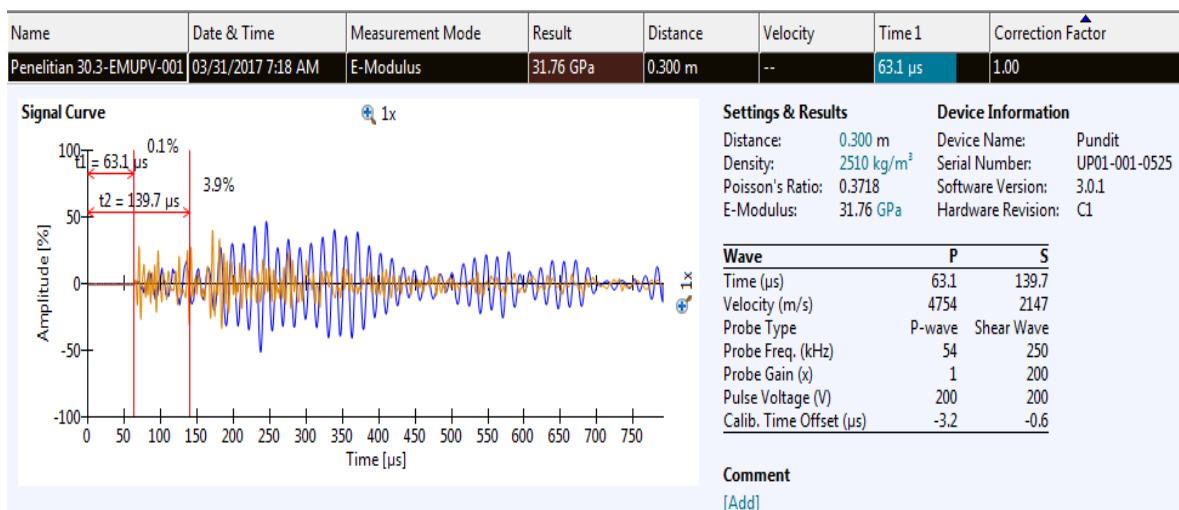


Gambar 63 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji B.3

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4508 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2757 m/s
- Ratio poisson = 0.2212
- Modulus Elastisitas = 46.61 GPa

8. Benda Uji C.3

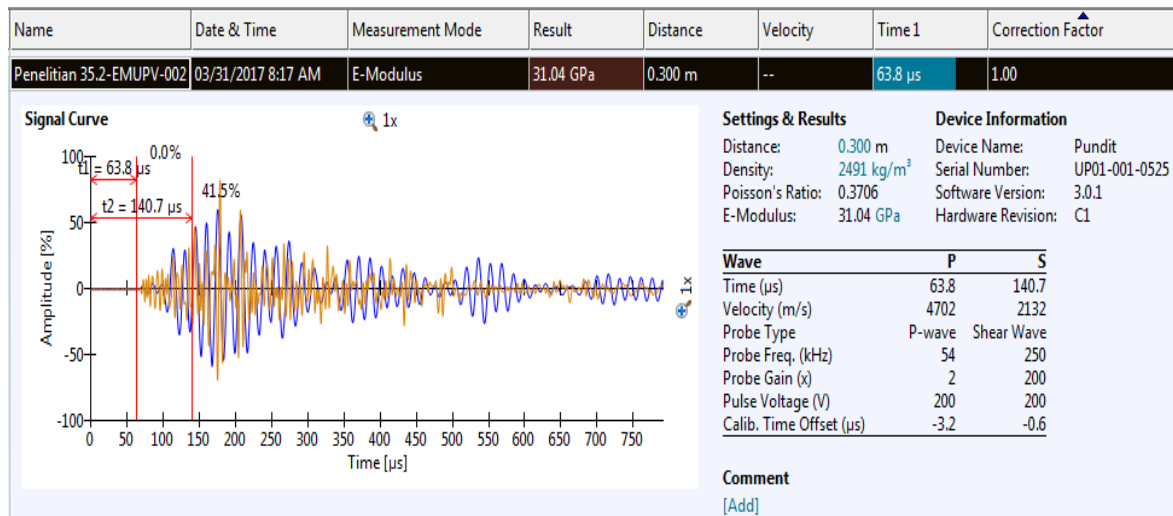


Gambar 64 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji C.3

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4754 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2147 m/s
- Ratio poisson = 0.3718
- Modulus Elastisitas = 31.76 GPa

9. Benda Uji D.2

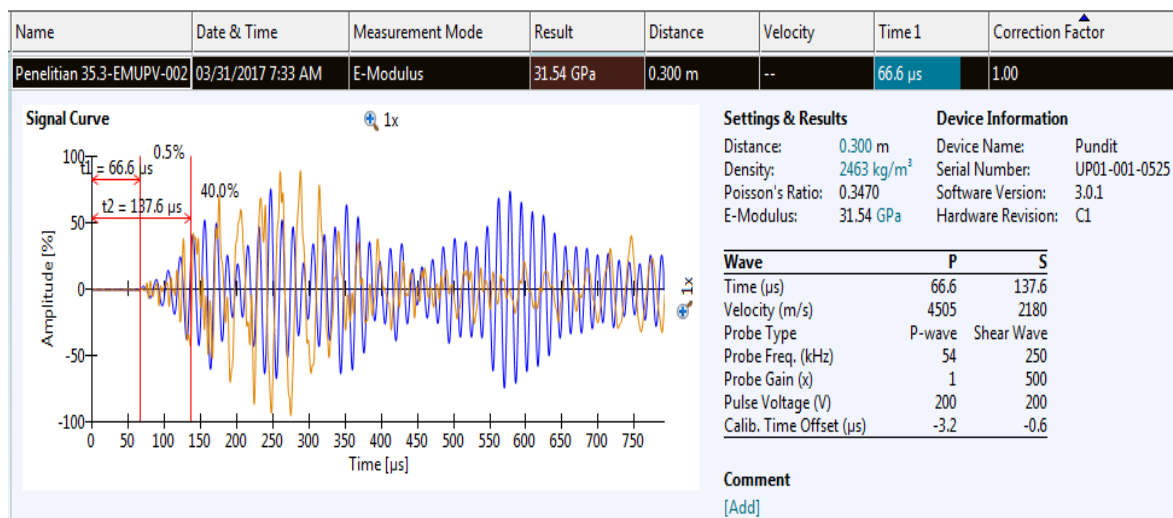


Gambar 65 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji C.3

Pada wave form didapatkan nilai :

- Cepat rambat gelombang P = 4702 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2132 m/s
- Ratio poisson = 0.3706
- Modulus Elastisitas = 31.04 GPa

10. Benda Uji D.3






Gambar 66 Wave form alat PUNDIT PL-200 benda uji D.3

Pada wave form didapatkan nilai :


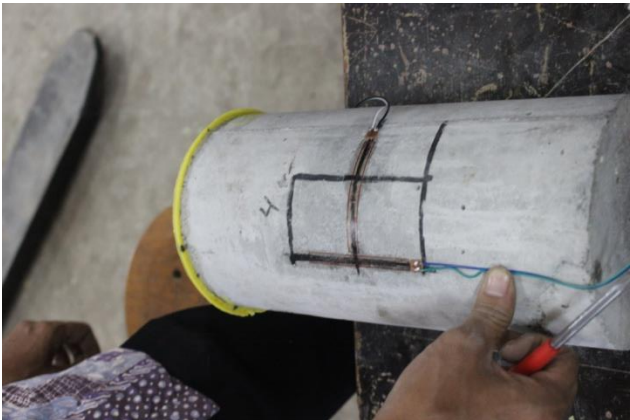

- Cepat rambat gelombang P = 4505 m/s
- Cepat rambat gelombang S = 2180 m/s
- Ratio poisson = 0.3470
- Modulus Elastisitas = 31.54 GPa





Lampiran 8 Dokumentasi Pengujian dan PenelitianTabel 110
Dokumentasi



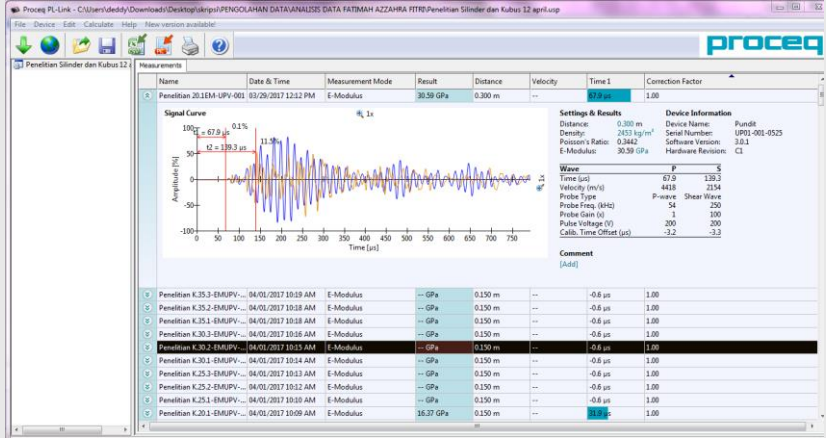
Uraian Kegiatan	Foto Kegiatan
Pemberian oli pada bekesting benda uji	
Material agregat halus	
Material agrgat kasar	

Uraian Kegiatan	Foto Kegiatan
Sement Portland	
Pengecoran	
Adonan hasil pengecoran	

Uraian Kegiatan	Foto Kegiatan
Slump Test	
Memasukkan beton pada cetakan	
Curing dilakukan dengan 2 cara : <ol style="list-style-type: none">1. Memasukkan ke dalam air2. Menggunakan karung goni basah	

Uraian Kegiatan	Foto Kegiatan
Pemasangan Strain Gauge pada benda uji	
Pemasangan kabel yang tersambung ke strain meter	
Pemasangan Ekstensometer pada benda uji	

Uraian Kegiatan	Foto Kegiatan
<p>Perletakan ke Compression Streng Machine</p>	
<p>Alat Strain meter</p>	
<p>Pemberian couplant pada transduser</p>	
<p>Meratakan alas dari permukaan benda uji</p>	

Uraian Kegiatan	Foto Kegiatan																																										
Pengujian modulus elastisitas menggunakan alat PUNDIT PL-200																																											
Pembacaan hasil kecepatan rambat gelombang																																											
Tampilan aplikasi PL-Link	 <p>The screenshot shows the Proceq PL-Link software interface. The main window displays a 'Signal Curve' plot with 'Amplitude [V]' on the y-axis (ranging from -100 to 100) and 'Time [μs]' on the x-axis (ranging from 0 to 750). The plot shows a damped oscillatory signal. A red vertical line is drawn at approximately 100 μs, and a blue vertical line is at approximately 150 μs. The peak-to-peak amplitude is labeled as 11.38 V. The software also displays a table of measurements and settings.</p> <table><tr><th>Name</th><th>Date & Time</th><th>Measurement Mode</th><th>Result</th><th>Distance</th><th>Velocity</th><th>Time 1</th><th>Correction Factor</th></tr><tr><td>Penelitian 20.1EM-UPV-001</td><td>03/29/2017 12:12 PM</td><td>E-Modulus</td><td>30.59 GPa</td><td>0.300 m</td><td>--</td><td>67.9 μs</td><td>1.00</td></tr></table> <p>Settings & Results</p> <table><tr><th>Wave</th><th>Time (μs)</th><th>Amplitude (V)</th><th>Velocity (m/s)</th><th>Probe Type</th><th>Probe Freq. (kHz)</th><th>Probe Gain (dB)</th><th>Pulse Voltage (V)</th><th>Calib. Time Offset (μs)</th></tr><tr><td>1</td><td>67.9</td><td>11.38</td><td>4418</td><td>Shear Wave</td><td>54</td><td>250</td><td>1</td><td>-3.2</td></tr></table> <p>Device Information</p> <table><tr><th>Device Name</th><th>Serial Number</th><th>Software Version</th><th>Hardware Revision</th></tr><tr><td>Pundit</td><td>UP02-002-9525</td><td>3.0.1</td><td>C1</td></tr></table> <p>Comment: [Add]</p>	Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Factor	Penelitian 20.1EM-UPV-001	03/29/2017 12:12 PM	E-Modulus	30.59 GPa	0.300 m	--	67.9 μs	1.00	Wave	Time (μs)	Amplitude (V)	Velocity (m/s)	Probe Type	Probe Freq. (kHz)	Probe Gain (dB)	Pulse Voltage (V)	Calib. Time Offset (μs)	1	67.9	11.38	4418	Shear Wave	54	250	1	-3.2	Device Name	Serial Number	Software Version	Hardware Revision	Pundit	UP02-002-9525	3.0.1	C1
Name	Date & Time	Measurement Mode	Result	Distance	Velocity	Time 1	Correction Factor																																				
Penelitian 20.1EM-UPV-001	03/29/2017 12:12 PM	E-Modulus	30.59 GPa	0.300 m	--	67.9 μs	1.00																																				
Wave	Time (μs)	Amplitude (V)	Velocity (m/s)	Probe Type	Probe Freq. (kHz)	Probe Gain (dB)	Pulse Voltage (V)	Calib. Time Offset (μs)																																			
1	67.9	11.38	4418	Shear Wave	54	250	1	-3.2																																			
Device Name	Serial Number	Software Version	Hardware Revision																																								
Pundit	UP02-002-9525	3.0.1	C1																																								

Sumber : Hasil Penelitian